WIADOMOŚCI
TECHNICZNO-ARTYLERYJSKIE

Nr. 5.

KWIECIEŃ — 1930.

TREŚĆ:

SOMMAIRE:

UWAGA: **Liczby, umieszczone nad tytułami poszczególnych artykułów w tekście, oznaczają symbole klasyfikacji dziesiętnej.**

Kpt. HARSKI IGNACY.

WYKORZYSTANIE STRZELAŃ BALISTYCZNYCH PRZY USTALANIU TABEL STRZELNICZYCH.

Tabele strzelnicze są dokumentem, opartym na balistyce zewnętrznej, zawierającym wiadomości niezbędne do osiągnięcia z danym sprzętem i z daną amunicją określonego punktu w przestrzeni.

Tabele strzelnicze zawierają elementy podstawowe, pozwalające osiągnąć określony punkt, o ile warunki strzału są normalne, oraz elementy wtórne, które pozwalają wprowadzić do podstawowych danych strzału poprawki, niezbędne dla skompensowania zmian towarzyszących ruchowi pocisku po oddaniu strzału.

Dla ustalenia jednych i drugich mamy dwie drogi: rachunek matematyczny i poligon, jako podstawę doświadczeń przy układaniu tabel strzelniczych.

Chociaż poligon jest bezspornie, konieczną podstawą tabel strzelniczych, jest niepodobieństwem opierać tabele te jedynie na danych doświadczalnych, prowadziłoby to bowiem do nieskończonych wprost strzelań w przeróżnych warunkach.

Druga droga polega na matematycznem obliczaniu toru pocisku. Elementy toru znajdziemy, posługując się np. metodą GHM (od nazwiska profesorów: Haag, Marcus i Garnier), wspomnianą w „Przeglądzie Artyleryjskim" Nr. 1, tom IX (lipiec 1929, str. 61 — 62).

Punktem wyjścia przy obliczaniu toru pocisku jest tor umyślony, z pojęciem którego są związane następujące założenia:

a) pocisk jest zredukowany do punktu materjalnego;

b) siła ciążenia jest stała, co do wielkości i kierunku, wartość przyśpieszenia ziemskiego wynosi $g = 9{,}81$ m/sek^2.

c) opór powietrza jest styczny do toru, ma kierunek odwrotny do kierunku ruchu i wyraża się wzorem:

$$\rho g = c \zeta F(b), \quad \text{gdzie}$$

ρ — stosunek obu wchodzących w grę przyśpieszeń;

c — spółczynnik balistyczny;

ζ — stosunek ciśnienia barometrycznego na wysokości y (na której w danej chwili znajduje się pocisk) do ciśnienia barometrycznego na powierzchni ziemi;

b — stosunek szybkości pocisku do szybkości dźwięku na tejże wysokości y.

Prócz tego przyjmuje się, że F(b) oraz ciśnienie barometryczne i szybkości dźwięku, w zależności od wysokości y, zostały ustalone doświadczalnie, a rezultaty doświadczeń są ujęte w formie tablic.

Zauważymy, że gdyby nasze założenia były słuszne, to tor pocisku byłby krzywą płaską, znajdującą się w płaszczyźnie pionowej, zawierającej szybkość początkową pocisku.

Po obliczeniu torów umyślonych, stosując rachunek warjacyjny, określamy zmiany torów, wywołane przez dowolne perturbacje: sporadyczne lub ciągłe, stałe lub zmienne. Posługując się np. metodą GHM, możemy tą drogą sprowadzić strzały próbne do warunków normalnych oraz określić spółczynniki różniczkowe, stanowiące podstawę wtórnych elementów tabel strzelniczych.

Jednak nieomylne metody matematyczne dają wyniki słuszne tylko wówczas, gdy założenia mieliśmy słuszne. Tymczasem poczynione wyżej założenia, niezbędne dla uproszczenia nader skomplikowanego zadania, tylko w przybliżeniu odpowiadają rzeczywistości:

a) siła ciążenia nie jest stała ani co do wielkości, gdyż maleje z wysokością, ani co do kierunku (zbieżność prostopadłych do powierzchni kuli ziemskiej);

b) pocisk nie ma kształtu punktu, a oś jego posiada ruch własny dookoła stycznej do toru środka ciężkości;

c) opór powietrza z powyższego powodu nigdy nie jest skierowany ściśle wzdłuż stycznej, jego zaś wielkość, a przynajmniej wielkość jego składowej, leżącej w płaszczyźnie rzutu nie wyraża się powyższym wzorem.

Z powyższego wynika, że, przy układaniu tabel strzelniczych, rachunek matematyczny powinien być traktowany jedynie jako środek

wyciągnięcia możliwie najlepszych wniosków ze strzelań doświadczalnych. Rachunek matematyczny uzupełnia wyniki strzelań doświadczalnych, zmniejsza ich ilość, niezbędną do ustalenia tablic, lecz zastąpić strzelań nie może.

Balistyka zewnętrzna posługuje się więc rezultatami strzelań doświadczalnych, które zestawia z rezultatami obrachunku. Powstaje niezwykle ciekawy sposób łączenia teorji z praktyką. Trzeba znaleźć optimum w stosowaniu jednej i drugiej.

Rolę rachunku i doświadczenia przy ustalaniu tabel strzelniczych ujmuje w całokształcie zagadnienia inż. en chef franc. artylerji morskiej M. Garnier („Mémorial de l'artillerie française — 4 zeszyt kwartalny 1929), na rozważaniach którego są oparte, w znacznej części, powyższe uwagi.

W praktyce układanie tablic strzelniczych odbywa się podług następującego schematu. Na podstawie praw mechaniki ruchu, układamy równania różniczkowe, które określą spółrzędne pocisku x, y, z oraz szybkości $\frac{dx}{dt}$, $\frac{dy}{dt}$, $\frac{dz}{dt}$ w funkcji czasu trwania lotu pocisku.

Obliczamy tory umyślone i spółczynniki różniczkowe, otrzymane z równań ruchu, wychodząc z pewnych parametrów, założonych jako stałe i przyjmując pewne hipotezy, uproszczające bardzo złożone zadania.

Uzgodnienie otrzymanych wyników rachunkowych z doświadczeniem wykonywuje się przez korygowanie wartości parametrów (a nie ostatecznych elementów, co jest bardzo ważną zaletą metody) oraz przez koordynację wszystkich wyników na wykresach wyrównawczych. Wreszcie, mając parametry wyrównane, obliczamy elementy niezbędne dla tabel strzelniczych.

Bardzo ciekawą ilustrację powyższej metody, w zastosowaniu do wyznaczenia spółczynnika balistycznego, podaje ppułk. Gebauer w znajdującej się obecnie w druku książce: „Aplikovaná matematika pro vojsko". Na tym konkretnym przykładzie zapoznamy się bliżej [1]) z metodą, którą omówiliśmy wyżej w zarysach ogólnych.

Przy strzelaniu balistycznem oddajemy n seryj po m_i wystrzałów, a mianowicie każda serja strzałów pod innym kątem podniesienia φ_i ($i = 1, 2, \ldots, n$). Więc dla każdej z tych n seryj otrzymamy inną średnią donośność i zarazem inne prawdopodobne uchylenie w głąb u_i poszczególnego strzału. Średnie donośności, przeliczone przy

[1]) na zasadzie „Vojensko-Technické Zprávy" Nr. 10, r. 1929.

zastosowaniu odnośnych poprawek na tak zwane normalne stosunki nazywamy redukowanemi donośnościami. Oznaczymy je X_i $(i=1, 2, \ldots, n)$.

Z prawdopodobnego uchylenia w głąb u_i pojedyńczych strzałów przy kącie strzału φ_i obliczymy prawdopodobne uchylenie $\frac{u_i}{\sqrt{m_i}}$ średniej donośności X_i danej serji wystrzałów. Zakładamy, iż w przeprowadzaniu prób i obliczeń nie było grubszych błędów. Gdyby nie było również błędów systematycznych, spowodowanych niewłaściwością pomiarów i redukcyjnych obliczeń (naprzykład w wadliwem obliczeniu wiatru balistycznego i jego wpływu i t. p.) i gdyby krzywą rozrzutu w rzeczywistości była krzywa Gaussa, mielibyśmy pewność moralną, że stwierdzona średnia donośności X_i różni się od rzeczywistej donośności $\bar{X}_i$ (odnośnego kąta strzału φ_i) mniej niż $4\frac{u_i}{\sqrt{m_i}}$, a więc

$$[\bar{X}_i - X_i] < 4\,\frac{u_i}{\sqrt{m_i}}.$$

Naprzykład przy $m_i = 9$, mielibyśmy $|\bar{X}_i - X_i| < \frac{4}{3}\,u_i = 1{,}33\ u_i$.

Poczem z tabel balistycznych dla danej szybkości początkowej v_0, dla kąta podniesienia φ_i i dla stwierdzonej donośności X_i odczytamy odnośne wartości c_i spółczynnika balistycznego. W podobny sposób dla zmian donośności $4\frac{u_i}{\sqrt{m_i}}$ obliczymy odnośne zmiany spółczynnika balistycznego

$$\Delta_i = 4\,\frac{u_i}{\sqrt{m_i}}\quad\frac{\partial c}{\partial X}.$$

W taki sposób naprzykład otrzymaliśmy w pewnym wypadku następującą tabelę wartości:

TABELA I.

i	φ_i	m_i	u_i	c_i	Δ_i
1	15^0	10	22,7	7,112	0,338
2	25^0	10	30,8	7,610	0,422
3	45^0	10	48.1	7,425	0,633

Wartości φ_i, c_i Δ_i zobrazujemy w systemie osi spółrzędnych φ, c. Na tym wykresie $(\varphi_i\ c_i)$ oznacza punkt a zatem tabela I da nam

n (w danym wypadku 3) takie punkty $A, B, C, \ldots$ [patrz wykres str. 481]. Od tych punktów na ich rzędnych naniesiemy odcinki $\pm \Delta_i$; w ten sposób otrzymamy punkty $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, \ldots$ Powierzchnia $A_1, B_1, C_1 \ldots C_2, B_2, A_2$ wyznacza granice, wewnątrz których znajduje się wartość poszukiwanego przez nas spółczynnika balistycznego. Zajmiemy się znalezieniem tej wartości.

I. Obliczenia tabel strzelniczych będzie najprostsze, o ile założymy, że spółczynnik balistyczny nie zależy od kąta strzału φ. O ile są spełnione warunki balistyczne tego założenia, to możemy szereg rzeczywistych wartości c_i zastąpić stałą wartością c.

Wartość $c =$ const. na wykresie naszym oznacza prostą równoległą do osi φ.

a) Tę stałą wartość c (względnie odpowiednią linję równoległą do osi φ) na wykresie moglibyśmy wziąć na oko. Jednakże sposób wyboru na oko nastręczałby wątpliwości, czy nie popełniliśmy błędu subjektywnego. Jedynie ustalenie reguły dałoby możność wyboru objektywnego (nie można powiedzieć wyboru bardziej racjonalnego). Wobec powyższego stosujemy matematyczny sposób wypośrodkowania, jak to pokażemy niżej.

b) Gdybyśmy pominęli tę okoliczność że wartości Δ_i w tabeli I są różne, byłoby najprostszem przyjąć średnią arytmetyczną

$$c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} c_i \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

a następnie obliczyć dla wszystkich wartości $i = 1, 2, \ldots, n$ różnice $(c_i - c)$, bezwzględne wartości których należałoby porównać z dopuszczalnemi granicznemi zmianami Δ_i. Tak obliczoną wartością c moglibyśmy się zadowolnić, gdyby wypadło, że $|c_i - c| < \Delta_i$ przy wszelkich wartościach $i = 1, 2, \ldots, n$.

Naprzykład według tabeli I otrzymalibyśmy

$$c = \frac{1}{3}(7{,}112 + 7{,}610 + 7{,}425) = 7{,}382;$$

$$|c_1 - c| = 0{,}270 < 0{,}338; \; |c_2 - c| = 0{,}228 < 0{,}422,$$

$$|c_3 - c| = 0{,}043 < 0{,}633.$$

c) Zauważmy, że równanie (1) nie odpowiada rzeczywistości, że poszczególne wartości c_i nie są obliczone jednakowo ściśle i posiadają różne wahania p_i. Przypuśćmy, że c znajduje się w zmiennych granicach $c_i - \Delta_i < c < c_i + \Delta_i$. Błąd $(c_i - c) = k_i \Delta_i$ będziemy mierzyli zawsze jego dopuszczalną skrajną granicą Δ_i, w ten sposób

otrzymamy błędy $k_i = \frac{c_i - c}{\Delta_i}$ a następnie wyznaczymy c tak, aby otrzymać najmniejszą sumę kwadratów

$$\sum_{i=1}^{i=n} k_i^2 = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{c_i - c}{\Delta_i}\right)^2 = \min.$$

Różniczkując podług c otrzymamy

$$-2 \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\Delta_i^2} (c_i - c) = 0, \quad \text{czyli}$$

$$-\sum_{i=1}^{i=n} \frac{c_i}{\Delta_i^2} + c \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\Delta_i^2} = 0,$$

skąd

$$c = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{c_i}{\Delta_i^2}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\Delta_i^2}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

To znaczy, że dowolna wartość c_i ma wahanie $p_i = \frac{1}{\Delta_i^2}$, a równanie 2 daje nam wartość średnią (środek wahań).

Znowu obliczymy błędy $(c_i - c)$, związane z tem wypośrodkowaniem i porównamy je ze skrajnemi przypuszczalnemi odchyleniami Δ_i.

Naprzykład według tabeli I otrzymamy

$$c = \frac{\frac{7{,}112}{0{,}338^2} + \frac{7{,}610}{0{,}442^2} + \frac{7{,}425}{0{,}633^2}}{\frac{1}{0{,}338^2} + \frac{1}{0{,}442^2} + \frac{1}{0{,}633^2}} = 7{,}324;$$

$$|c_1 - c| = 0{,}212 < 0{,}338, \qquad |c_2 - c| = 0{,}286 < 0{,}422,$$

$$|c_3 - c| = 0{,}101 < 0{,}633.$$

Wartość średnia (środek wahań), obliczona podług wzoru (2) jest wyraźnie lepsza, niż średnia arytmetyczna, obliczona ze wzoru (1).

d) Moglibyśmy ewentualnie przyjąć tę wartość c która wynika z równania;

$$\sum_{i=1}^{i=n} k_i = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{c_i - c}{\Delta_i} = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

stąd

$$c = \frac{\sum\limits_{i=1}^{i=n} \frac{c_i}{\Delta_i}}{\sum\limits_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\Delta_i}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

co oznacza, że w tym wypadku każdej wartości c_i przypisujemy inne wahanie $p_i = \frac{1}{\Delta_i}$.

Tak naprzykład dla wartości tabeli I otrzymamy

$$c = \frac{\frac{7,112}{0,338} + \frac{7,610}{0,422} + \frac{7,425}{0,633}}{\frac{1}{0,338} + \frac{1}{0,422} + \frac{1}{0,633}} = 7,354\,,$$

$$|c_1 - c| = 0,242 < 0,338, \qquad |c_2 - c| = 0,256 < 0,422,$$

$$|c_3 - c| = 0,071 < 0,633.$$

II. Założenie, że spółczynnik balistyczny c nie zależy od kąta strzału φ, nie zawsze odpowiada rzeczywistości, a uwidacznia się to również w przebiegu wartości c_i, które obliczyliśmy na podstawie strzelań balistycznych. Tu możemy funkcyjną zależność c od φ przedstawić w przybliżeniu prostą.

$$c = c_0 + a\varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

której stałe c_0, oraz a teraz ustalimy rachunkiem wyrównawczym.

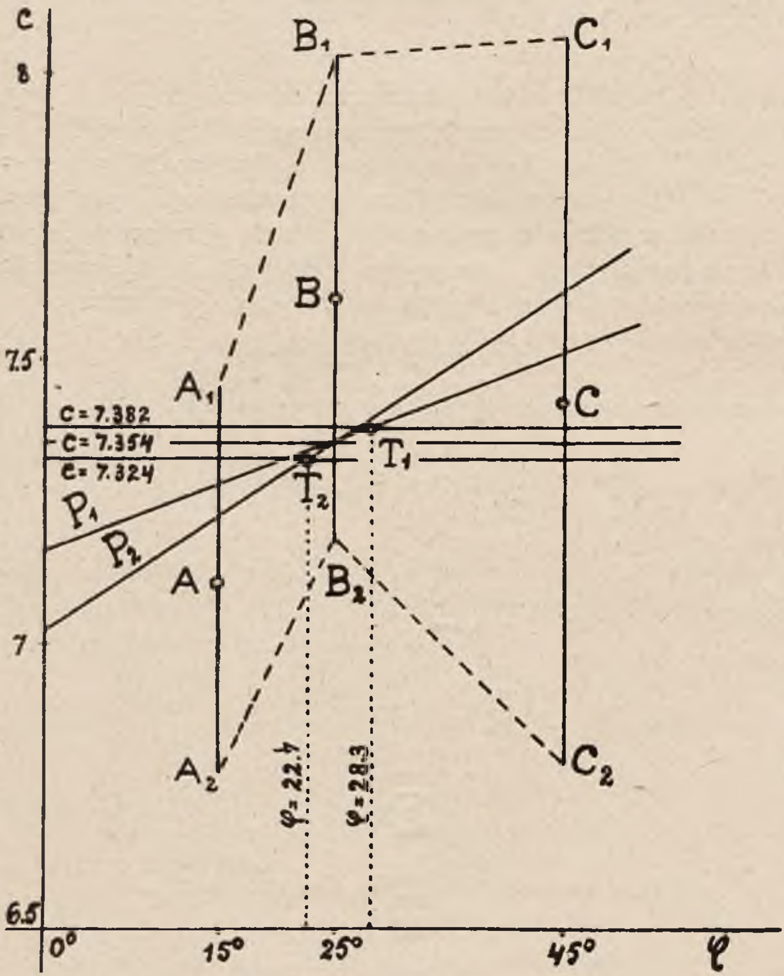
a) Przedewszystkiem założymy znów, że każda z danych n wartości c_i $(i = 1, 2, \ldots, n)$ ma jednakowe wahanie. Dążymy do tego, ażeby prosta (5) wypośrodkowywała wartości c_i w ten sposób, aby suma błędów równała się zeru

$$\sum_{i=1}^{i=n} (c - c_i) = \sum_{i=1}^{i=n} (c_0 + a\,\varphi_i - c_i) = 0\,.$$

Więc powinno być

$$c_0\, n + a \sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i = \sum_{i=1}^{i=n} c_i \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Widzimy, że z danego warunku wypływa linijna zależność (6) pomiędzy wartościami stałemi c_0 oraz a, które mamy wyznaczyć, a więc dany warunek sam przez się w tym wypadku jeszcze nie wystarcza do wyznaczenia tych stałych.



Wykres.

Punkt ciężkości T danych n punktów (φ_i, c_i) na wykresie ma spółrzędne

$$\varphi_t = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i, \quad c_t = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n} c_i \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Wiemy również, że każda prosta 5, która przechodzi przez punkt ciężkości T (φ_t, c_t), czyni zadość także równaniu (6) jak się zresztą łatwo przekonamy, podstawiając do równania (5) $\varphi = \varphi_t$, $c = c_t$ z równania (7).

Pęk prostych, przechodzących przez punkt ciężkości T (φ_t, c_t) ma równanie

$$c - c_t = a\,(\varphi - \varphi_t),$$

w którem spółczynnik a jest parametrem zmiennym.

Uprościmy sobie rachunek, przenosząc początek spółrzędnych do punktu T (φ_t, c_t) drogą zamiany spółrzędnych $\varphi - \varphi_t = \varphi'$, $c - c_t = c'$. Otrzymamy najprostsze równanie tego pęku prostych $c' = a\varphi'$, zaś wybór właściwej prostej z tego pęku prostych przedstawi się matematycznie, jako wybór właściwego jej spółczynnika a.

Znajdziemy a stosując metodę najmniejszych kwadratów dla błędów

$$c_i' - c' = c_i' - a\,\varphi_i',$$

które powstaną przy tem wypośrodkowywaniu. Zatem ma być

$$\sum_{i=1}^{i=n} (c_i' - a\,\varphi_i')^2 = \min.$$

tudzież

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^{i=n} (c_i' - a\,\varphi_i')\,\varphi_2' =$$

$$= -2\left[\sum_{i=1}^{i=n} c_i'\,\varphi_i' - a \sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i'^2\right] = 0,$$

skąd

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_i'\,\varphi_i'}{\sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i'^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

gdzie $\varphi_i' = \varphi_i - \varphi_t$, $\quad c_i' = c_i - c_t \quad \ldots\ldots \quad (9)$

Poszukiwaną prostą wypośrodkowującą jest więc

$$c - c_t = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_i'\,\varphi_i'}{\sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i'^2}\,(\varphi - \varphi_t) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Naprzykład dla wartości φ_i, c_i umieszczonych w tabeli I otrzymamy

$$\varphi_t = \frac{85}{3}, \qquad c_t = \frac{22,147}{3}$$

Ułożymy następującą tabelę:

i	$3\,\varphi_i'$	$3\,c_i'$	$9\,c_i'\,\varphi_i'$	$9\,\varphi_i'^2$
1	— 40	— 0,811	+ 32,44	1600
2	— 10	+ 0,683	— 6,83	100
3	+ 50	+ 0,128	+ 6,40	2500
Σ	0	0	+ 32,01	4200

Więc
$$a = \frac{32,01}{4200} = 0,0076215$$

Dla poszukiwanej wypośrodkowywującej prostej (10) mamy zatem równanie

$$c = \frac{22,147}{3} = 0,0076215\left(\varphi - \frac{85}{3}\right)$$

czyli $c = 7,1664 + 0,0076215\,\varphi$. Jest to prosta P_1, uwidoczniona na wykresie. Jej stałe (c_0, a) możemy obliczyć również metodą najmniejszych kwadratów; zakładamy więc

$$\sum_{i=1}^{i=n} (c - c_i)^2 = \sum_{i=1}^{i=n} (c_0 + a\,\varphi_i - c_i)^2 = \min.$$

przytem musi być spełnione równanie

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial c_0} = 2\sum_{i=1}^{i=n} (c_0 + a\,\varphi_i - c_i) = 0, \qquad \text{czyli}$$

$$c_0\,n + a\sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i = \sum_{i=1}^{i=n} c_i$$

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial a} = 2\sum_{i=1}^{i=n} (c_0 + a\,\varphi_i - c_i)\,\varphi_i = 0, \qquad \text{czyli}$$

$$c_0 \sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i + a\sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i^2 = \sum_{i=1}^{i=n} c_i\,\varphi_i$$

O ile oznaczymy wyznacznik układu tych dwu równań

$$\left.\begin{aligned} D &= n \sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i\right)^2 \\ &\text{otrzymujemy} \\ c_0 &= \frac{1}{D}\left[\sum_{i=1}^{i=n} c_i \sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i^2 - \sum_{i=1}^{i=n} c_i \varphi_i \sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i\right] \\ a &= \frac{1}{D}\left[\sum_{i=1}^{i=n} c_i \varphi_i - \sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i \sum_{i=1}^{i=n} c_i\right] \end{aligned}\right| \quad . \qquad (11)$$

Łatwo dowieść, że prosta (5), której stała c_0 oraz a są dane układem równań (11) przechodzi przez środek ciężkości T (φ_t, c_t) i ma spółczynnik kierunkowy dany równaniem (8), a więc jest identyczna z prostą (10).

Celem udowodnienia wystarczy do równania (5) podstawić zamiast c_0 oraz a wartości z równań (11), a prócz tego z równań (7) $\varphi = \varphi_t$ oraz $c = c_t$; następnie podstawić z równań (9) i (7) odpowiednie wartości do równania (8).

Naprzykład dla wartości φ_i, c_i z tabeli I mamy

$$\Sigma\, \varphi_i = 85, \qquad \Sigma\, \varphi_i^2 = 2875, \qquad c_i = 22{\cdot}147,$$

$$\Sigma\, c_i\, \varphi_i = 631{,}055, \qquad D = 1400$$

$$c_0 = \frac{1}{1400}\,[22{,}147 \,.\, 2875 - 631{,}055 \,.\, 85] = 7{,}1664\,,$$

$$a = \frac{1}{1400}\,[3 \,.\, 631{,}055 - 85 \,.\, 22{,}147] = 0{,}0076215\,,$$

a otrzymamy (jak wyżej) $c = 7{,}1664 + 0{,}0076215\, \varphi$.

Dla $\varphi = 15^0$ mamy $c = 7{,}281$, $c_1 - c = -\,0{,}169$;

„ $\varphi = 25^0$ „ $c = 7{,}357$, $c_2 - c = +\,0{,}253$;

„ $\varphi = 45^0$ „ $c = 7{,}509$, $c_3 - c = -\,0{,}084$;

Suma wszystkich błędów $\Sigma\,(c_t - c) = 0$.

b) Przyjrzyjmy się znów różnym wahaniom p_i stwierdzonych wartości c_i (jak to czyniliśmy wyżej pod I c, d).

Dla każdego punktu (φ_i, c_i) mierzymy błąd

$$c_i - c = c_i - c_0 - a\,\varphi_i = k_i\,\Delta_i$$

znów odnośnem granicznem przypuszczalnem odchyleniem Δ_i. W ten sposób otrzymamy stosunkowe błędy

$$k_i = \frac{1}{\Delta_i} [c_i - c_0 - a\,\varphi_i]$$

zaś metodą najmniejszych kwadratów ustalimy stałe c_0 oraz a tak, aby

$$\sum_{i=1}^{i=n} k_i^2 = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\Delta_i^2} [c_i - c_0 - a\,\varphi_i]^2 = \min.$$

Poszukiwane wartości c_0, a, muszą więc uczynić zadość równaniom

$$\frac{\delta \Sigma}{\delta c_0} = -2 \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\Delta_i^2} [c_i - c_0 - a\,\varphi_i] = 0, \qquad \text{czyli}$$

$$c_0 \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\Delta_i^2} + a \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\varphi_i}{\Delta_i^2} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{c_i}{\Delta_i^2},$$

$$\frac{\delta \Sigma}{\delta a} = -2 \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\varphi_i}{\Delta_i^2} [c_i - c_0 - a\varphi_i] = 0; \quad \text{czyli}$$

$$c_0 \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\varphi_i}{\Delta_i^2} + a \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\varphi_i^2}{\Delta_i^2} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{c_i\,\varphi_i}{\Delta_i^2}.$$

Te dwa równania mają wyznacznik układu

$$D = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\Delta_i^2} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\varphi_i^2}{\Delta_i^2} - \left(\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\varphi_i}{\Delta_i^2} \right)^2$$

i dają rozwiązanie

$$c_0 = \frac{1}{D} \left[\sum_{i=1}^{i=n} \frac{c_i}{\Delta_i^2} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\varphi_i^2}{\Delta_i^2} - \sum_{i=1}^{i=n} \frac{c_i\,\varphi_i}{\Delta_i^2} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\varphi_i}{\Delta_i^2} \right],$$

$$a = \frac{1}{D} \left[\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\Delta_i^2} \sum_{i-1}^{i=n} \frac{c_i\,\varphi_i}{\Delta_i^2} - \sum_{i-1}^{i=n} \frac{\varphi_i}{\Delta_i^2} \sum_{i-1}^{i=n} \frac{c_i}{\Delta_i^2} \right]. \qquad (12)$$

Naprzykład dla wartości φ_i, c_i, Δ_i, umieszczonych w tabeli I otrzymamy

$$\sum \frac{1}{\Delta_i^2} = 16{,}864 \quad \sum \frac{\varphi_i}{\Delta_i^2} = 383{,}988,$$

$$\sum \frac{\varphi_i^2}{\Delta_i^2} = 10532{,}84 \quad \sum \frac{c_i}{\Delta_i^2} = 123{,}516,$$

$$\sum \frac{c_i\,\varphi_i}{\Delta_i^{\,2}} = 2835{,}88\,, \quad D = 30181{,}7$$

$$c_0 = 7{,}02385\,, \quad a = 0{,}01319$$

a poszukiwaną wypośrodkowującą prostą jest $c = 7{,}02385 + 0{,}01319\,\varphi$. Jest to prosta P_2 na naszym wykresie.

Prosta ta dla

$\varphi = 15^0$ daje $c = 7{,}222$, więc $c_1 - c = -0{,}110$
$\varphi = 25^0$ „ $c = 7{,}354$ „ $c_2 - c = +0{,}256$
$\varphi = 45^0$ „ $c = 7{,}617$ „ $c_3 - c = -0{,}192$

Równanie tej prostej możemy również wyprowadzić sposobem, który daje poniekąd łatwiejszy rachunek.

Punktom $(\varphi_i,\ c_i)$ przypisaliśmy różne wahania p_i. Wspólny środek ciężkości T_2 $(\varphi_t,\ c_t)$ tych n punktów o różnych ciężarach ma współrzędne

$$\varphi_t = \frac{\sum\limits_{i=1}^{i=n} p_i\,\varphi_i}{\sum\limits_{i=1}^{i=n} p_i}\,, \qquad c_t = \frac{\sum\limits_{i=1}^{i=n} p_i\,c_i}{\sum\limits_{i=1}^{i=n} p_i} \quad \ldots\ldots \quad (13)$$

Przeniesiemy początek współrzędnych φ', c' do tego środka ciężkości T_2 $(\varphi_t,\ c_t)$ zamieniając współrzędne $\varphi' = \varphi - \varphi_t$, $c' = c - c_t$. Pęk prostych przechodzących przez początek układu (środek ciężkości) T_2 ma w systemie współrzędnych φ', c' równanie $c' = a\,\varphi'$ Z tego pęku wybierzemy tę prostą wypośrodkowującą, dla której suma kwadratów błędów będzie najmniejsza

$$\sum_{i=1}^{i=n} p_i\,(c_i' - a\,\varphi'_i)^2 = \min.$$

Tudzież musi mieć miejsce

$$-\,2 \sum_{i=1}^{i=n} p_i\,(c_i' - a\,\varphi'_i)\,\varphi'_i = 0 \quad \text{czyli}$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} p_i\,c_i'\,\varphi_i' = a \sum_{i=1}^{i=n} p_i\,\varphi_i'^2$$

stąd otrzymamy spółczynnik kierunkowy poszukiwanej prostej

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i \, c_i' \, \varphi_i'}{\sum_{i=1}^{i=n} p_i \, \varphi_i^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (14)$$

gdzie $\varphi_i' = \varphi_i - \varphi_t, \quad c_i' = c_i - c_t$ . . . . (9)

O ile weźmiemy ponownie wahania $p_i = \frac{1}{\Delta_i^2}$ to otrzymamy

$$\varphi_t = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\varphi_i}{\Delta_i^2}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\Delta_i^2}}, \quad c_t = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{c_i}{\Delta_i^2}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\Delta_i^2}}, \quad a = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{c_i \varphi_i'}{\Delta_i^2}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\varphi_i'^2}{\Delta_i^2}} \quad . \; . \; . \quad (15)$$

$$c - c_t = a\,(\varphi - \varphi_t) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (16)$$

Znów łatwo dowieść, że prosta (16) której stałe c_t, φ_t, a są dane równaniami (15), (9), jest identyczna z prostą (5), której stałe c_0, a są dane równaniami (12). Dowód da się przeprowadzić zwykłem podstawieniem zamiast c_t, φ_t, a z równań 15, 9 do równania (16) a zamiast c_0, a z równań 12 do równania (5).

TABELA III.

i	$\frac{1}{\Delta_i^2}$	φ_i'	c_i'	$\frac{c_i \varphi_i'}{\Delta_i^2}$	$\frac{\varphi_i'^2}{\Delta_i^2}$
1	8,753194	— 7,769365	—0,212141	14,427023	528,3694
2	5,615327	+ 2,230635	+0,285859	3,580597	27,9404
4	2,495701	+ 22,230635	0,100859	5,595760	1233,3783
$\sum_{i=1}^{i=n}$	—	—	—	23,60338	1789,688

Tym sposobem obliczymy dla wartości φ_i, c_i, Δ_i zapisanych w tabeli I.

$$c_t = \frac{\frac{7,112}{0,338^2} + \frac{7,610}{0,422^2} + \frac{7,425}{0,633^2}}{\frac{1}{0,338^2} + \frac{1}{0,422^2} + \frac{1}{0,633^2}} = 7,32414$$

$$\varphi_t = \frac{\frac{15}{0{,}338^2} + \frac{25}{0{,}422^2} + \frac{45}{0{,}633^2}}{\frac{1}{0{,}338^2} + \frac{1}{0{,}422^2} + \frac{1}{0{,}633^2}} = 22{,}7694$$

Zatem

$$a = \frac{23{,}6034}{1789{,}69} = 0{,}01319.$$

Poszukiwana prosta wypośrodkowywująca ma równanie $c - 7{,}32414 = 0{,}01319\,(\varphi - 22{,}7694)$, czyli $c = 7{,}02385 + 0{,}01319\,\varphi$ jak otrzymaliśmy już wyżej. Ten sposób wypośrodkowywania jest, oczywiście, lepszy niż rozpatrzony pod 2a.

623.412.6:623.551

Mjr. Dr. FELSZTYN TADEUSZ.

O TABELI STRZELNICZEJ MOŹDZIERZA PIECHOTY STOKES'A.

W Instrukcji Strzeleckiej dla broni towarzyszącej piechoty (Część IV) umieszczone są, jako załącznik, tabele strzelnicze dla moździerza piechoty Stokes'a.

Tabele te zostały opracowane w Centralnej Szkole Strzelniczej w 1926 r. Konieczność ich opracowania wynikła stąd, że tabele strzelnicze dla moździerza Stokes'a, podane w instrukcji strzeleckiej francuskiej [1]), odnoszą się do pocisku typu starego (wz. 18), podczas gdy stosowany u nas pocisk nowy (wz. 24), o zmienionym kształcie (rys. 1) posiada inne własności balistyczne; z tego też względu i jego dane strzelnicze będą inne.

Tabele strzelnicze zostały opracowane przy pomocy środków niezmiernie prymitywnych, jakie wówczas stały do dyspozycji. Z aparatów balistycznych posługiwano się jedynie czasomierzem Boulangé.

Z chwilą, gdy oficjalne opublikowanie tabeli zezwoliło na jej publiczne omawianie, sądzę, że przedstawienie przebiegu prac nie będzie rzeczą pozbawioną zainteresowania dla czytelników „Przeglądu Artyleryjskiego".

Przemawiają bowiem za tem następujące względy:

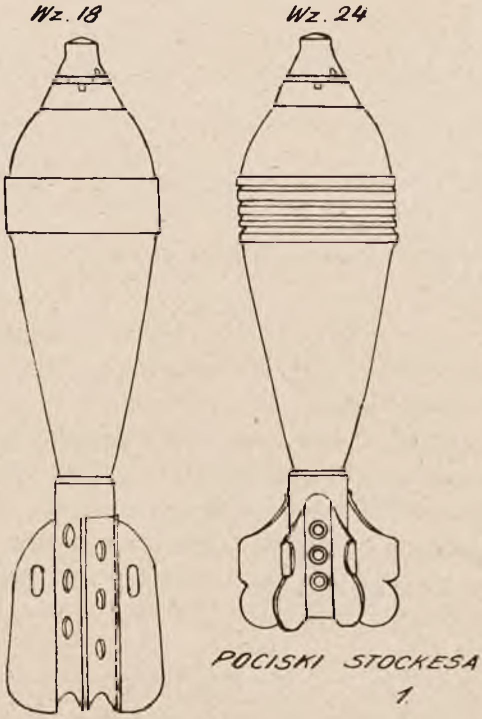
1) Balistyka pocisków brzechwowych i jej problemy stanowią najmłodszą dziedzinę zjawisk balistycznych; wiele więc w niej panuje niedomówień, wiele niejasności. Sądzę, że najlepiej i najwszechstronniej oświetli ją przedstawienie tam panujących zjawisk niejako „in flagranti" w trakcie dokonywania pracy badawczej i rachunko-

---

[1]) Instruction de 20 juin 1919 sur le mortier Stokes de 81 mm, modèle 1918, mise à jour le 1-er février 1925.

wej, a nie zwykle stosowane posługiwanie się cyframi już zaokrąglonemi.

2) Przedstawienie to unaoczni trudności, związane z pracą układania tabel strzelniczych i możliwość jej wykonania przy bardzo nawet prymitywnych środkach.



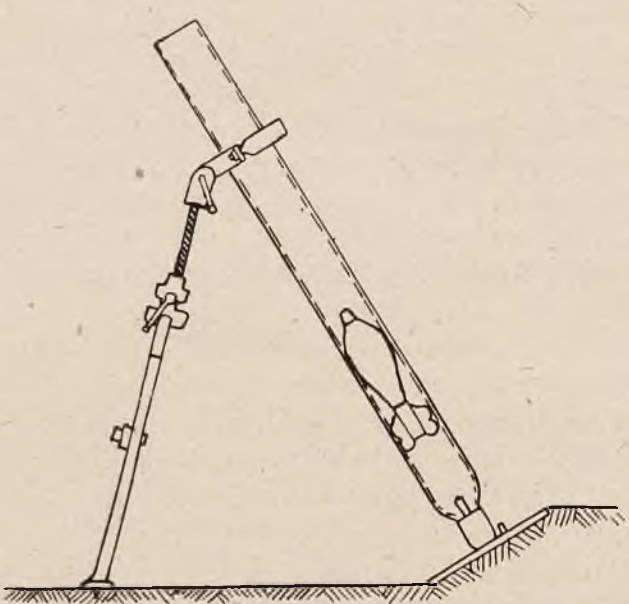
Rys. 1.

3) Dla większości oficerów, posługujących się tabelami strzelniczemi, stanowią one coś absolutnego, niewzruszonego. Nie będzie więc dla nich bez pożytku przedstawić kulisy tej roboty, i to nie na teoretycznych wywodach że „tak się robi", ale na żywej, faktycznie wykonanej pracy. W ten sposób wyraźnie unaoczni się dokładność, jaką tu można osiągnąć i stopień błędu, jaki ciąży na poszczególnych elementach, podanych w tabeli, a więc i tem samem zgodność wyników z tabelą, jakiej przy strzelaniu praktycznem można się spodziewać.

Pracę przedstawię w faktycznym jej przebiegu, uzupełniając ją jedynie omówieniem i teoretycznem uzasadnieniem napotykanych wielkości.

Dla informacji podaję jeszcze kilka danych o broni i jej amunicji.

Moździerz Stokes'a jest bronią prymitywną, ładowaną od przodu. Iglica jego jest stała. Pocisk zawiera sam swój ładunek miotający. Odpalenie następuje przez wrzucenie pocisku od wylotu; spłonka, uderzając o iglicę, zapala się, powodując wystrzał. Wygląd broni i jej przekrój podaje rys. 2.



Rys. 2.

Strzela się pięciu ładunkami. Ładunek 0 („zwykły"), najsłabszy, składa się z samego ładunku miotającego, umieszczonego w brzechwie.

By ładunek zwiększyć, dodaje się *ładunki dodatkowe*, o kształcie małych płaskich woreczków, które wkłada się między skrzydełka brzechwy pocisku. Ładunków dodatkowych można zaczepić w ten sposób od 1 do 4; zgodnie z tem nazywa się dany ładunek, ładunkiem 1-szym, 2-gim, 3-cim, lub 4-tym; odmiennie więc, niż w artylerji, ładunek 4-ty jest ładunkiem najsilniejszym, a nie najsłabszym.

I. DANE BALISTYCZNE POCISKU STOKES'A WZ. 18.

1. Omówienie wstępne.

Balistyka pocisków brzechwowych jest dziedziną zupełnie nową. Stąd też przed przystąpieniem do pracy z tego zakresu należy

uprzednio sprawdzić, czy i o ile można tu stosować klasyczne metody balistyki.

Szybkość początkowa, jak to z obserwacji słuchowej można wnosić (brak trzasku fali balistycznej), nie przekracza szybkości głosu.

Sama przez się nasuwa się więc myśl stosowania kwadratowego prawa oporu powietrza do obliczania tabeli, a mianowicie:

(1) $$R = \frac{\delta}{\delta_0} \cdot \frac{1}{P} \cdot \frac{a^2}{4} \cdot i \cdot Kv^2$$

gdzie R oznacza opóźnienie, δ gęstość powietrza w chwili strzału, δ_0 ciężar normalny (przy którym obliczono funkcję oporu powietrza), P ciężar pocisku, a jego kaliber, i spółczynnik kształtu, v szybkość lotu, a K pewien spółczynnik, oznaczony doświadczalnie, wynoszący np. przy wzorze oporu powietrza Kruppa

$$K = \frac{g\pi}{1000} \cdot 0{,}014$$ [2])

Stosowanie tego wzoru nie jest zupełnie słuszne już dla pocisków gwintowanych, bo i dla nich kwadratowe prawo oporu powietrza niezupełnie jest prawdziwe, wielkość bowiem K nie jest stałą, lecz zmienną z szybkością V.

Jeżeli jednak $60 < v < 250$, zamienność ta jest tak niedużą, że nie zaważy na szali praktycznego rachunku.

Czy tak samo przedstawia się sprawa i dla pocisku, którego brzechwy i odmienna stabilizacja mogą całkowicie zmienić działanie oporu powietrza — oto kwestja, którą dopiero należy zbadać.

Chcąc ułatwić dalszą dyskusję, pragnę tu zauważyć, że liczbowa wielkość spółczynnika K jest zupełnie obojętną, byle tylko był on stałym, t. j. niezależnym od szybkości.

Faktycznie bowiem wzór (1) da się przedstawić w sposób następujący:

---

[2]) Faktycznie, wobec tego, że δ_0 jest w mianowniku, należałoby pisać $i = i' \delta_0$ gdzie i' jest liczbą niemianowaną. Wobec więc włączenia ciężaru powietrza do i, nie jest ono liczbą niemianowaną, lecz ma wymiar gęstości powietrza, t. j. kg/m^3.

K natomiast, pomimo wchodzącej w jego skład pozornie mianowanej wielkości (g), jest faktycznie bezwymiarowe, ponieważ $g = 9{,}81$ jest tu jedynie cyfrą, a nie przyśpieszeniem. Skutkiem tego wszelkie z i pochodne cyfry, jak np. n i q mają również wymiar i, t. j. kg/m^3.

(1a) $$R = \frac{\delta}{\delta_0} \cdot \frac{a^2}{P} \cdot n \cdot v^2 = A v^2$$

gdzie $n = \frac{i K}{4}$.

Jeżeli więc dla danego δ i dla danego pocisku $\left(\frac{a^2}{P} \text{ stałe}\right)$ A okaże się niezależnem od szybkości, to pocisk spełnia kwadratowe prawo oporu powietrza. Jeżeli zaś wielkość A, względnie, co na to samo wychodzi, n, okaże się zmienną, to należy zanalizować przyczynę tej zmienności i, zależnie od wyniku tej analizy, określić możliwość względnie niemożliwość stosowania kwadratowego prawa oporu powietrza dla danego typu pocisku.

2. Wybór metody rachunkowej.

Dwie były do dyspozycji funkcje balistyczne, oparte na kwadratowem prawie oporu powietrza, przynajmniej, jeśli chodzi o funkcje, których tabele są gotowe i obliczone w posiadanych przez nas podręcznikach. Są to: 1) funkcje, podane przez *Heydenreicha „Die Lehre vom Schuss"* na str. 130—132 (tabele *Bernoulli-Didion*) i 2) funkcje, podane przez *Cranza „Lehrbuch der Ballistik"* w wyd. II str. 127 tom I i tab. 9 tom IV (tabele *Otto-Lardillon).*

Jedne i drugie tabele okazały się dla pocisku Stokes'a niekompletne.

Tabele *Otto Lardillon,* prócz niedostatecznego zasięgu, wykluczającego możność obliczania przy pocisku wz. 18 torów, wystrzelonych kątami niższemi, niż 55^0, mają ponadto i tę niedogodność, że obliczone są jedynie dla całych wielokrotności 5^0, nie mogą więc znaleźć zastosowania przy poprawkach wiatru, ani też przy strzelaniu pod kątami, różnemi od całkowitych wielokrotności 5^0, wobec konieczności żmudnej i zawsze wątpliwej interpolacji graficznej.

Tabele *Bernoulli-Didion* również nie były kompletne, ponieważ brak było cyfr dla zmiennej $\frac{x}{k} > 2{,}00$ (a wielkość jej, wyliczona z tabel pocisku wz. 18 okazała się, wobec dużego oporu powietrza względem tego pocisku, większą od tej liczby), a oprócz tego okazało się również, że cyfry tabeli funkcji pomocniczej Didiona ν nie miały dostatecznego zasięgu w stosunku do potrzeb rachunkowych. Na szczęście jednak funkcje te dały się uzupełnić, a mianowicie:

a) Tabela funkcyj $\frac{X}{k}$, $\frac{W}{k}$, F, E, T, Θ, podanemi w tomie IV *Cranza* tab. 6, funkcjami B, J, V, D, względnie ich iloczynami i sumami aż do wielkości $\frac{X}{k} = 2{,}40$, co dla celów praktycznych okazało się wystarczającem.

b) Tabela funkcji *Didiona*

$$\nu = \frac{\int\limits_{\alpha}^{\varphi} \sec^3 \vartheta \, d\vartheta}{\int\limits_{\alpha}^{\varphi} \sec^2 \vartheta \, d\vartheta} \tag{2}$$

(gdzie α oznacza kąt rzutu, a φ kąt upadku) przy pomocy podanej przez *Cranza* (tom IV, tabela 10b) funkcji

$$\xi(\sigma) = \int\limits_{0}^{\sigma} \sec^3 \vartheta \, d\vartheta ,$$

uwzględniając, że

$$\nu = \frac{\xi(\alpha) + \xi(\varphi)}{\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\varphi} . \tag{3}$$

Uzupełnienie tych tabel podaję w zestawieniach 1 i 2, by oszczędzić konieczności powtórnego ich obliczania tym kolegom, którym mogłyby być potrzebne.

O wiele łatwiejsza możność uzupełnienia, oraz fakt, że tak uzupełnione funkcje zezwalają na rachunek dokładniejszy i na rachowanie ułamków toru, jeśli tego zajdzie potrzeba, przeważyły na korzyść metody *Bernoulli-Didion*, którą też zastosowano przy dalszej pracy.

Wobec tego, że posługiwano się przy niej tabelami, podanemi u *Heydenreicha*, sposób oznaczania poszczególnych wielkości zastosowano taki sam, jak w wyżej cytowanej książce *Heydenreicha*, z drobnemi zmianami w znakownictwie, wymienionemi niżej pod 3).

Zgodnie z tem, zamiast spółczynnika n, wprowadzam nowy spółczynnik kształtu $q = 2n$ i spółczynnik

$$\frac{1}{k} = \frac{\delta}{\delta_0} \cdot \frac{a^2}{P} \cdot q \cdot \nu . \tag{4}$$

Tutaj jednak zachodzi nowa trudność.

Otóż ν, wyrównawczy czynnik *Didiona*, umożliwiający całkowanie zasadniczego równania toru

$$dx = -\frac{v^2}{g} \cdot d\vartheta = -\frac{v^2}{g} \frac{g\, d(v \cos\vartheta)}{c \cdot v \cdot v^2} = -\frac{d(v\cos\vartheta)}{c\,v} =$$

$$= -\frac{d\,(v\cos\vartheta)}{c\,.\,\frac{1}{\cos\vartheta}\,.\,v\cos\vartheta} \backsim \frac{d\,(v\cos\vartheta)}{c\,.\,\nu\,.\,v\cos\vartheta}$$

jest średnią, przybliżeniem, wprowadzającym zgóry pewien błąd w rachunku.

Jak jednak badanie torów pocisków gwintowanych o małej szybkości początkowej wykazuje, stosowanie tego czynnika nie pociąga za

Zestawienie 1.

Uzupełnienie tabeli funkcyj Bernoulli-Didion.

$\frac{x}{k}$	$\frac{W}{k}$	Logarytmy Funkcyj $F\left(\frac{x}{k}\right)$	$E\left(\frac{x}{k}\right)$	$V\left(\frac{x}{k}\right)$	$T\left(\frac{x}{k}\right)$	$\Theta\left(\frac{x}{k}\right)$
2,01	4,431	0,3433	0,2827	0,4364	0.2364	0,1294
2,02	4,473	0,3453	0,2840	0.4386	0,2376	0,1299
2,03	4,516	0,3473	0,2853	0,4408	0,2389	0,1305
2,04	4,559	0,3493	0,2863	0,4430	0,2401	0,1310
2,05	4,602	0,3513	0,2880	0,4451	0,2414	0,1316
2,06	4,646	0,3532	0,2893	0,4473	0,2427	0,1321
2,07	4,690	0,3552	0,2906	0,4494	0,2439	0,1327
2,08	4.734	0,3572	0,2919	0,4516	0,2452	0,1332
2,09	4,779	0,3592	0,2933	0.4538	0,2465	0.1338
2,10	4,825	0,3613	0,2946	0,4560	0.2478	0,1343
2,11	4.871	0,3633	0,2959	0,4582	0,2491	0,1349
2,12	4,917	0,3653	0,2972	0,4604	0,2503	0,1354
2,13	4.963	0,3673	0,2985	0,4625	0,2516	0,1360
2,14	5,009	0,3693	0,2999	0,4647	0,2529	0,1365
2,15	5,055	0,3713	0,3012	0,4668	0,2541	0,1371
2,16	5,102	0,3734	0,3025	0,4690	0,2554	0,1376
2,17	5,150	0,3754	0,3038	0,4712	0,2567	0,1382
2,18	5,198	0,3774	0,3051	0,4734	0,2580	0.1387
2,19	5,246	0,3794	0,3064	0,4755	0,2593	0,1392
2,20	5,295	0,3815	0,3077	0,4777	0,2605	0,1397
2,21	5,344	0,3835	0,3090	0,4799	0,2618	0,1402
2,22	5,394	0,3856	0,3103	0,4821	0,2631	0,1407
2,23	5,444	0,3876	0,3116	0,4842	0,2644	0,1412
2,24	5,494	0,3896	0,3129	0,4864	0,2657	0,1417
2,25	5,545	0,3917	0,3142	0,4885	0,2670	0,1422
2,26	5.596	0,3938	0.3155	0,4907	0,2683	0,1427
2,27	5,647	0,3958	0,3168	0,4929	0,2695	0,1432
2,28	5,699	0,3979	0,3181	0,4951	0,2708	0,1437
2,29	5,751	0.3999	0,3194	0,4972	0,2721	0.1443
2.30	5,804	0,4020	0,3207	0,4994	0,2734	0,1448
2,31	5,857	0,4040	0,3220	0,5016	0,2747	0,1453
2,32	5,910	0,4061	0,3233	0,5038	0,2760	0,1458
2,33	5,964	0,4082	0.3246	0,5059	0,2773	0,1463
2,34	6,018	0,4103	0,3259	0,5081	0,2785	0.1468
2,35	6,073	0,4123	0,3271	0,5103	0,2798	0,1473
2,36	6,128	0,4144	0,3284	0,5125	0,2811	0,1478
2,37	6,183	0,4165	0,3297	0,5146	0,2824	0,1483
2,38	6,239	0,4185	0,3310	0,5168	0,2837	0,1489
2,39	6,295	0,4206	0,3323	0,5190	0,2850	0,1494
2.40	6,352	0,4227	0,3336	0,5212	0,2863	0,1499

Zestawienie 2.

Uzupełnienie tabeli czynnika wyrównawczego Didiona.

Logarytmy.

α Stopni	$\varphi - \alpha$ (stopni) 0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
39	0,0415	0,0445	0,0478	0,0517	0,0563	0,0618	0,0680	0,0752	0,0836	0,0934	0,1046
41	0,0470	0,0503	0,0540	0,0583	0,0634	0,0694	0,0764	0,0845	0,0939	0,1049	0,1177
43	0,0531	0,0567	0,0608	0,0656	0,0713	0,0780	0,0858	0,0949	0,1055	0,1180	0,1327
45	0,0598	0,0637	0,0683	0,0757	0,0800	0,0875	0,0962	0,1065	0,1186	0,1330	0,1498
47	0,0672	0,0715	0,0766	0,0826	0,0897	0,0981	0,1080	0,1196	0,1334	0,1498	0,1693
49	0,0754	0,0802	0,0858	0,0925	0,1005	0,1100	0,1212	0,1345	0,1505	0,1694	0,1922
51	0,0845	0,0898	0,0961	0,1036	0,1126	0,1233	0,1361	0,1515	0,1701	0,1922	0,2191
53	0,0946	0,1004	0,1075	0,1160	0,1262	0,1385	0,1533	0,1711	0,1927	0,2189	0,2509
55	0,1059	0,1123	0,1203	0,1299	0,1415	0,1556	0,1728	0,1937	0,2185	0,2505	0,2893
57	0,1183	0,1257	0,1346	0,1456	0,1589	0,1753	0,1953	0,2200	0,2506	0,2886	0,3367
59	0,1323	0,1406	0,1507	0,1633	0,1788	0,1979	0,2216	0,2512	0,2883	0,3351	0,3953
61	0,1481	0,1574	0,1690	0,1835	0,2017	0,2242	0,2527	0,2886	0,3344	0,3933	0,4706
63	0,1659	0,1764	0,1898	0,2067	0,2281	0,2552	0,2897	0,3342	0,3920	0,4682	0,5716
65	0,1-59	0,1981	0,2137	0,2336	0,2591	0,2921	0,3350	0,3912	0,4661	0,5686	0,7150
67	0,2089	0,2229	0,2411	0,2649	0,2959	0,3368	0,3912	0,4645	0,5656	0,7115	0,9428
69	0,2352	0,2515	0,2732	0,3019	0,3404	0,3924	0,4635	0,5629	0,7078	0,9393	
71	0,2657	0,2848	0,3109	0,3465	0,3954	0,4636	0,5605	0,7039	0,9354		
73	0,3012	0,3240	0,3560	0,4012	0,4655	0,5590	0,7000	0,9309			
75	0,3431	0,3708	0,4111	0,4704	0,5591	0,6964	0,9259				
77	0,3933	0,4276	0,4802	0,5622	0,6937	0,9200					
79	0,4545	0,4984	0,5708	0,6933	0,9141						
81	0,5312	0,5901	0,6983	0,9090							

sobą dużych różnic w wynikach rachunku w porównaniu do wyników doświadczenia; z tego też względu można uznać, jest on słuszny przy normalnie ustabilizowanym pocisku. Czy przy pocisku brzechwowym, o innych zasadach stabilizacji będzie on również odpowiadał, t. j. czy, innemi słowy, q będzie wielkością stałą, niezależnie od kąta rzutu, jest to pytanie, na które zgóry nie można odpowiedzieć ani twierdząco, ani przecząco.

Rzecz tę należy zbadać; najlepiej wziąć jako materjał istniejącą już tabelę francuską dla moździerza Stokes'a wz. 18, t. j. pocisku typu starego.

Należy więc sprawdzić na podstawie tych danych, czy:

1) można stosować kwadratowe prawo oporu powietrza dla pocisków z brzechwami;
2) można stosować istniejące tabele balistyczne do tego celu i w jakim zakresie.

Dane francuskie wzięto z cytowanej poprzednio „Instruction du 20 juin 1919 sur le mortier Stokes de 81 mm".

3. Obliczenie dla pocisku wz. 18.

Funkcje, które wprowadza metoda Bernoulli-Didion są następujące: [3])

(5) $$F\left(\frac{x}{k}\right)=\frac{2}{\left(\frac{x}{k}\right)^2}\left(e^{\frac{x}{k}}-\frac{x}{k}-1\right);$$

(6) $$T\left(\frac{x}{k}\right)=\frac{1}{\frac{x}{2k}}\left(e^{\frac{x}{2k}}-1\right);$$

(7) $$E\left(\frac{x}{k}\right)=\frac{2T\left(\frac{2x}{k}\right)-F\left(\frac{x}{k}\right)}{F\left(\frac{x}{k}\right)},$$

[3]) Ze względów typograficznych i celem częściowego przynajmniej uzgodnienia znakownictwa z ogólnie u nas przyjętem, wprowadzam następujące zmiany w porównaniu do oryginalnych tabel Heydenreicha

piszę $\frac{x}{k}$ zamiast $\frac{w}{k}$

i $\frac{W}{k}$ zamiast $\frac{\mathfrak{W}}{k}$.

(8) $$V\left(\frac{x}{k}\right) = e^{\frac{x}{2k}},$$

(9) $$\Theta\left(\frac{x}{k}\right) = \frac{T^2\left(\frac{x}{k}\right)}{F\left(\frac{x}{k}\right)},$$

(10) $$\frac{W}{k} = \frac{x}{k} F\left(\frac{x}{k}\right),$$

wzory zaś, któremi rachujemy:

(11) $$W = \frac{v_o^2 \sin 2\alpha}{g} \text{ (donośność w próżni)},$$

(12 $$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}\alpha \,.\, E\left(\frac{X}{k}\right),$$

(13) $$v_\varphi = \frac{\cos\alpha}{\cos\varphi} \cdot \frac{v_0}{V\left(\frac{X}{k}\right)},$$

(14) $$t_\varphi = \frac{X}{v_0 \cos\alpha} \cdot T\left(\frac{X}{k}\right) = \sqrt{\frac{2\, X \operatorname{tg}\alpha}{g} \cdot \Theta\left(\frac{X}{k}\right)},$$

gdzie X oznacza donośność,

α kąt rzutu,

φ kąt upadku,

v_φ szybkość pozostałą w punkcie upadku,

t_φ czas przelotu (w dalszym ciągu oznaczany krótko przez t),

x odciętą w dowolnym punkcie toru.

Tabela strzelnicza francuska podaje dla poszczególnych ładunków:

donośność X,

kąt rzutu α,

czas przelotu t.

Dane te wzięto za podstawę rachunku, biorąc w każdym ładunku kąt najmniejszy, największy i najbliższy 60°; dane podane przez instrukcję francuską potraktowano, jako dane wstrzelane.

Pierwszym krokiem było obliczenie szybkości początkowych z czasów przelotu, a mianowicie:

Z znanych α i X oblicza się

(15) $$\Theta\left(\frac{X}{k}\right) = \frac{t^2 g}{2\, X \operatorname{tg}\alpha} \qquad \left[\text{z } (14.)\right]$$

Skąd, wyszukując w tabeli $\left[\text{dla } \frac{X}{k}, \text{ znanego z funkcji } \Theta\left(\frac{X}{k}\right)\right]$ wielkość funkcji $F\left(\frac{X}{k}\right)$, uzyskuje się (z (10) i (11)):

(16) $$v_0^2 = F\left(\frac{X}{k}\right) \cdot \frac{Xg}{\sin 2\alpha}.$$

Tak obliczone v mogą dać jedynie wskazania ogólne, ponieważ:

1. Czasy przelotu są zaokrąglone do 0,1 sek., co jest poważnem źródłem błędów.
2. Nieznaną jest zasada, jaką stosowano do ustalenia czasów przelotu, stąd też trudno ustalić, czy są to dane empiryczne, czy też obliczone i jakim jest ich stosunek do kątów rzutu i donośności.

Ponieważ jednak innej drogi do ich ustalenia nie było, trzeba było stosować je takie, jakie je otrzymano, zaokrąglając je jedynie graficznie.

Dalszym krokiem pracy było obliczenie spółczynnika q.

W tym celu wstawia się wielkości v, oznaczone jak wyżej podano, w równanie (10), w którem wielkość W wstawiono z równania (11), a mianowicie:

(17) $$F\left(\frac{X}{k}\right) = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{Xg}.$$

Z $F\left(\frac{X}{k}\right)$ wyszukuje się w tabeli $\frac{X}{k}$, a przy jego pomocy funkcje E i T.

Z nich uzyskuje się $tg\varphi$ i t (z wzorów (12) i (13)), oraz

(18) $$\frac{1}{k} = \frac{X}{k} \cdot \frac{1}{X}.$$

Dla znanych φ i α uzyskuje się ν z tabeli tej funkcji, stąd zaś (kładąc $\delta = \delta_0$)

(19) $$q = \frac{1}{k} \cdot \frac{P}{a^2 v}.$$

Należy wyjaśnić, dlaczego dla wyszukania q posługiwano się tak długą drogą. Wszak już z wzoru (14) znało się $\frac{X}{k}$. Cała więc dalsza droga od (16) do (18) może się wydawać zbędną.

Trzeba jednak uwzględnić, że dane donośności X są podane z znacznie większą dokładnością, niż dane czasów przelotu t. Wiel-

kości $\frac{X}{k}$, obliczone z tych ostatnich, byłyby przeto obarczone tak dużym stopniem niepewności, że wyciąganie z nich jakichkolwiek wniosków byłoby wykluczone. Natomiast, jeżeli raz ustali się v, choćby w przybliżeniu, i przy pomocy tej wielkości oraz zupełnie dokładnie podanych X obliczy się $\frac{X}{k}$, ma się znacznie większe szanse, że uzyska się wielkości bliższe prawdy.

Pomimo jednak tych ostrożności, uzyskane tą drogą wielkości q wydały się wątpliwe. Nasunęło się więc przypuszczenie, że w ustaleniu, względnie zaokrągleniu v tkwi jakiś błąd. By go wykryć, powtórzono raz jeszcze rachunek dla v mniejszych, i bliższych wielkości, obliczonych poprzednio.

Ponieważ wynik rachunku ciągle jeszcze wykazywał ten sam charakter zachowania się q (malenie z rosnącym kątem rzutu), powtórzono raz jeszcze obliczenie dla ładunku 0, dla v jeszcze mniejszego.

Rachunek ten wykazuje wyraźnie znów ten sam charakter zmienności q, a ponadto czasy przelotu wybitnie różne od tabelarnych.

Stąd więc wysnuto wniosek, że dziwna napozór zmiennośc q tkwi w samych cyfrach tabeli francuskiej, a nie w źle obranej v_0.

Dlatego też z poprzednich rachunków wyszukano takie v_0, któreby dały czasy przelotu najbliższe tabelarnym, i te v_0 przyjęto za właściwe.

Podaje je zestawienie 3 wraz z innemi danemi, charakterystycznemi dla pocisku wz. 18.

II. OMÓWIENIE WYNIKÓW.

Zestawienie 3-cie wykazuje:

1. malenie q z rosnącą szybkością,
2. malenie q również i z rosnącym kątem rzutu, w dużo jednak mniejszych granicach.

Przyczyny obu tych zjawisk należy omówić, zaczynając od pierwszej, najważniejszej, bo największej.

1. Zmienność q z szybkością.

Przyczynę tej zmienności możnaby, na pierwszy rzut oka, przypisać nieprawidłowości stosowania kwadratowego prawa oporu powietrza do pocisku brzechwowego.

Zestawienie 3.

Dane pocisku Stokesa wz. 18.

Ładunek	Kąt	Donośność	Czas przelotu	v_0	Spółczynnik kształtu
0	42^0 60^0 $74^1/_4{}^0$	540 m 460 m 280 m	11,8 sek. 14,7 sek. 16,4 sek.	105 m/sek.	1,256 1,023 1,008
1	$41^1/_2{}^0$ 60^0 $74^1/_4{}^0$	940 m 780 m 480 m	15,0 sek. 19,3 sek. 23,2 sek.	138 m/sek.	0,713 0,621 0,592
2	$41^1/_2{}^0$ $59^3/_4{}^0$ 70^0	1340 m 1100 m 820 m	17,9 sek. 22,5 sek. 24,5 sek.	159 m/sek.	0,461 0,445 0,416
3	42^0 60^0 70^0	1660 m 1380 m 1040 m	20,1 sek. 25,4 sek. 27,8 sek.	182 m/sek.	0,396 0,358 0,336
4	41^0 60^0 $69^3/_4{}^0$	1920 m 1620 m 1240 m	21,4 sek. 27,6 sek. 30,0 sek.	198 m/sek.	0,348 0,300 0,284

Jeżeli jednak przyjrzeć się cyfrom i przypomnieć sobie (wzór 1a), gdzie za n postawiono $\left.\frac{q}{2}\right)$, że

$$R = \frac{\delta}{\delta_0} \cdot \frac{a^2}{P} \cdot \frac{q}{2} \cdot v^2 \tag{20}$$

i wstawić w ten wzór wielkości q i v dla kąta np. 60^0 i v_0 równego raz 105 m sek., drugi zaś 198 m/sek., to zobaczymy, że dla $v = 105$ m/sek.:

$$R = \frac{\delta}{\delta_0} \cdot \frac{a^2}{2P} \cdot 1{,}023 \cdot 105^2 \sim \frac{\delta a^2}{2\delta_0 P} \cdot 114\,000, \tag{21}$$

a dla $v = 198$ m/sek. analogicznie:

$$R = \frac{\delta a^2}{2\delta_0 P} \cdot 0{,}300 \cdot 198^2 \sim \frac{\delta a^2}{2\delta_0 P} \cdot 116\,000 \tag{22}$$

czyli, że opór powietrza byłby dla szybkości 105 i 198 zupełnie prawie równy.

Jasną jest rzeczą, że nie może to pochodzić z zastosowania takiego, czy innego prawa oporu powietrza. Jakikolwiek bowiem przyjmiemy jego kształt, to zawsze R dla szybkości 198 m sek. będzie co najmniej 2 razy większe, niż R dla szybkości 105 m/sek.

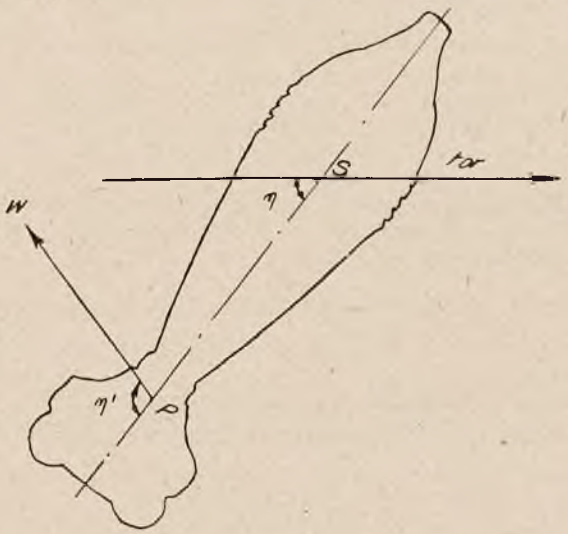
Przyczyny należy więc szukać gdzie indziej, a mianowicie w stabilizacji pocisku.

2. Stabilizacja pocisków brzechwowych.

Stabilizacja pocisków brzechwowych różni się zasadniczo od stabilizacji pocisków gwintowanych.

W pocisku gwintowanym wypadkowa sił oporu powietrza ma swój punkt zaczepienia *przed* środkiem ciężkości. Moment oporu powietrza wywiera więc skutek, wywracający pocisk, i dopiero połączenie jego działania z momentem, wynikającym z ruchu pocisku dokoła środka ciężkości, wywołuje w skutku ruch precesyjny pocisku dokoła stycznej do toru, czyli prawidłowy jego lot.

Natomiast w pocisku dobrze ubrzechwionym wypadkowa oporu powietrza ma swój punkt zaczepienia *wtyle* pocisku, skutkiem czego (rys. 3) moment oporu powietrza sam wtłacza pocisk w tor.



Rys. 3.

Czynnikiem stabilizacji jest tu więc jedynie *moment oporu powietrza*

(23) $$M = W \cdot l \cdot \sin \eta',$$

gdzie $$W = \frac{P \cdot R}{g}$$

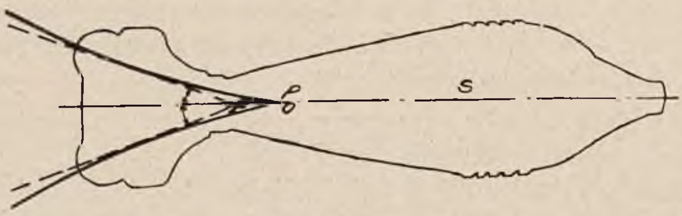
jest wielkością oporu powietrza, R jak poprzednio, opóźnieniem, P ciężarem pocisku, l odległością punktu zaczepienia oporu powie-

trza od środka ciężkości, η' zaś kątem, jaki opór powietrza zawiera ze styczną do toru.

Kąt ten jest naogół większy niż kąt η pomiędzy pociskiem a styczną do toru, i, dla określonego typu pocisku, jest od tego kąta ściśle zależny.

Wielkość l nie jest stała, lecz zależy zarówno od szybkości pocisku, jak i od kąta η. Zmienność jej w zależności od szybkości jest jednak nieduża (byle tylko v było mniejsze od szybkości głosu), można ją więc śmiało przy rozważeniu problemu pominąć. Natomiast zmienność długości l w zależności od kąta jest znacznie większa. Dla każdego typu pocisku można ją określić doświadczalnie. Zespół tych doświadczeń da się przedstawić w postaci krzywej, t. zn. metacentrycznej, która podaje związek między wielkością l, a kątem η, jaki zawiera oś pocisku ze styczną do toru.[4])

Krzywą tę interpretuje się następująco (rys. 4). Niech pocisk zawiera z styczną do toru kąt η. Kreślimy do krzywej metacentrycznej styczną, która zawiera z osią pocisku kąt η; przecina ona oś pocisku w punkcie P, który jest punktem zaczepienia oporu powietrza przy danym kącie η. Odcinek $S\,P$ daje wielkość ramienia l.



Rys. 4.

Z wzoru (23) wynika w sposób zupełnie jasny, że stabilizacja pocisku będzie tem szybszą, im wielkość M będzie większą, a więc im większe będą l i W (względnie, co na to samo wychodzi, R).

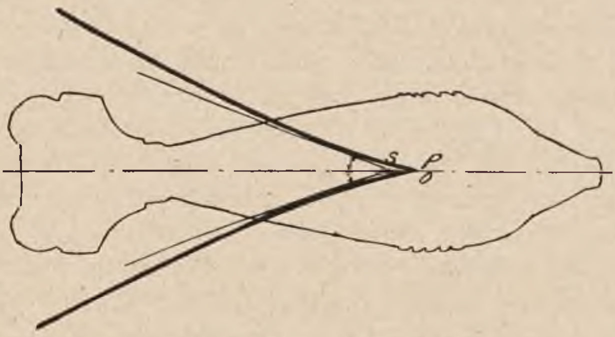
Po pierwsze więc stabilizacja zależy od rodzaju ubrzechwienia pocisku, będąc tem lepszą, im większe l_0 (odstęp od S punktu P_0 krzywej metacentrycznej, odpowiadającego $\eta = 0$).

W skrajnym wypadku, gdyby $l_0 = 0$, pocisk byłby w położeniu stycznem do toru w równowadze niestałej, i nieustannie, pod wpływem obniżania się toru, położenie to opuszczałby. Z tą chwilą $(\eta > 0)$ l staje się dodatnie. Moment M wtłacza pocisk w styczną

[4]) Wedle ppłk. Duchêne „Étude sur la stabilite des projectils", Bulletin de Renseignements de l'Artillerie Nr. 15.

do toru, którą jednak pocisk natychmiast opuszcza, dzięki szybkości kątowej, jaką uzyskał pod wpływem momentu *M*.

Ruch takiego pocisku będzie to więc nieustanne wahanie dokoła środka ciężkości, co oczywiście bardzo silnie powiększy opór powietrza, powodując tem samem bardzo nieregularny lot pocisku.



Rys. 5.

Gorzej byłoby jeszcze, gdyby l_0 było ujemne (rys. 5). Wtedy bowiem pocisk byłby w położeniu stycznem w nierównowadze, a równowagę osiągałby tylko każdorazowo, przechodząc przez kąty $+\eta_1$ i $-\eta_1$, gdzie styczna do krzywej metacentrycznej przechodzi przez środek ciężkości.

Bieg takiego pocisku byłby więc zupełnie już wadliwy, wahania jego bowiem miałyby olbrzymią amplitudę.

Takiemi były pierwsze pociski brzechwowe, co też tłumaczy ich zupełną niecelność i niesłuszną opinję przeniesioną z nich do pocisków brzechwowych wogóle, że brzechwy wykluczają celność.

Dziś już takie pociski należą do przeszłości. Pomińmy je więc i wróćmy do rys. 4, t. j. do pocisku o obrzechwieniu prawidłowem. Wielkość momentu stabilizującego zależy od wielkości *R*, t. j. oporu powietrza. Wiadomo, że wielkość tego oporu wzrasta przy $v < 240$ m sek. mniej więcej w kwadracie w stosunku do szybkości.

A więc, im większa szybkość lotu pocisku, tem lepiej ustabilizowanym będzie pocisk, czyli tem częściej przez czas swego lotu będzie miał położenie najkorzystniejsze, t. j. styczne do toru.

Jeżeli natomiast pocisk jest źle ubrzechwiony (jak na rys. 5), to i największa szybkość nic mu nie pomoże. Ile bowiem razy będzie przybliżać się do stycznej, przechodząc przez kąty krytyczne $(\pm\eta_1)$, tyle razy wchodzić będzie w strefę nierównowagi. I przy największej szybkości będzie więc ten pocisk miał wahania na torze.

Wzrost szybkości stabilizuje więc pocisk prawidłowo ubrzechwiony; na pocisk wadliwie ubrzechwiony wpływ jego jest niewielki.

Jak z powyższych rozważań wynika, ruch prawidłowo ubrzechwionego pocisku dokoła jego środka ciężkości jest ruchem stożkowym dokoła położenia równowagi, o malejącym kącie stożka.

Położenie to jednak, jak to szczegółowe studjum *Esclangon'a* (Mémorial de l'Artillerie Française, 1927 „Le mouvement des projectils etc") wykazuje, nie jest bynajmniej identyczne z styczną do toru, lecz zawiera z nią pewien kąt, wyrażony z dostatecznem przybliżeniem wzorem:

(24)
$$\eta_M = \frac{g^2 A \cos \vartheta}{v^2 P R l \varkappa} [2g \sin \vartheta + R],$$

gdzie

η_M jest kątem, jaki oś równowagi zawiera z styczną do toru,
g przyspieszeniem ziemskiem,
A poprzecznym momentem bezwładności pocisku,
ϑ kątem nachylenia toru,
R opóźnieniem,
v szybkością lotu,
P ciężarem pocisku,
l długością ramienia zaczepienia,
$\varkappa$ pewnym spółczynnikiem, zależnym od budowy pocisku.

O ile rzut pocisku nie był idealny, t. j. taki, że pocisk odrazu znalazł się w położeniu równowagi, to, jak to przed chwilą wspomniałem, pocisk wykonywać będzie ruchy po pewnym stożku dokoła położenia równowagi, przyczem okres jednorazowego obrotu będzie mniej więcej równy:

(25)
$$\omega = \frac{2 \pi g A}{P R l \varkappa}.$$

Rozwartość tego stożka (który będzie nie stożkiem kołowym, lecz eliptycznym, w większości wypadków tak wąskim, że prawie identycznym z płaszczyzną pionową) będzie zależną od początkowego uderzenia gazów wylotowych na pocisk, lub jakiejkolwiek innej perturbacji początkowej.

Rozwartość ta maleje w miarę lotu. Szybkość malenia zależy od budowy pocisku i od szybkości ruchu pocisku na stożku, będzie więc tem większą, im większy opór powietrza i im dłuższe jego ramię.

Ta szczegółowa analiza ruchu potwierdza więc poprzednie wnio-

ski, a zarazem wykazuje, że położenie osi równowagi pocisku zależne jest dla tego samego pocisku od szybkości lotu przy danym kącie nachylenia, przyczem oś równowagi jest tem bliższa stycznej do toru, im szybkość jest większa.

Wskutek tego, ponieważ stożek, jaki oś pocisku zakreśla, ma oś równowagi jako swe położenie średnie, to też nawet przy tym samym momencie stabilizacyjnym, t. j. przy tej samej szybkości zwężania się stożka, pocisk będzie tem bliższy stycznej do toru, im mniejszy jest kąt między osią równowagi a styczną do toru (γ_M), a więc na podstawie wzoru (24), im większą jest jego szybkość lotu.

Jeżeli więc pocisk jest prawidłowo ubrzechwiony, lot jego będzie tem prawidłowszy, im jest szybszy, a to w wyniku dwu zgodnie ze sobą działających czynników:

1) większego momentu stabilizacji,

2) mniejszego kąta osi równowagi z styczną do toru.

W rezultacie więc pocisk słabo, ale prawidłowo ustabilizowany przy małych szybkościach, będzie w miarę wzrostu szybkości coraz bardziej się stabilizował.

Jest to główną zaletą pocisków brzechwowych, zezwalającą im, znacznie bardziej, niż pociskom gwintowanym, stosować się do rozmaitych szybkości. Wystarczy bowiem, by pocisk był ustabilizowany przy szybkości najmniejszej, jakiej od niego wymagamy; wzrost szybkości samoczynnie niejako zapewnia coraz lepszą jego stabilizację, aż do tej chwili, gdy zbyt duży nacisk gazów w lufie zacznie zniekształcać brzechwę, wpływając tem samem ujemnie na stabilizację.

Aż do tej granicy, która zwykle jest dość wysoka, większa, niż praktyczne wymagania, jakie się tego rodzaju pociskom stawia, a którą zresztą można w drodze odpowiedniej konstrukcji brzechwy dość znacznie przesunąć wgórę, stabilizacja przy najmniejszej szybkości zapewnia sama przez się stabilizację przy szybkości większej, czyniąc pocisk brzechwowy znacznie bardziej giętkim konstrukcyjnie, niż gwintowany, którego stabilizacja wymaga przy ustaleniu skoku gwintów dużych kompromisów między największą, a najmniejszą szybkością.

Wskutek tego przy stromotorowych broniach piechoty, które ze względu na swe przeznaczenie posługiwać się muszą bardzo szeroką gamą szybkości, nie przekraczającą jednak zwykle szybkości 240 m sek., granicy, przy której dopiero ujemny wpływ gazów na brzechwę wyraźnie daje się odczuwać, pocisk brzechwowy znajduje coraz szersze zastosowanie ze względów nawet czysto balistycznych.

A że ponadto ułatwia on i konstrukcję broni, to też zastosowanie jego tembardziej jest wskazane.

Po tej dygresji wracam do tematu właściwego, t. j. do wniosków, jakie wynikają z dyskusji poprzedniej. Wynika z niej mianowicie, że im większa szybkość, tem prawidłowszy lot pocisku dobrze ubrzechwionego, tem więc mniejsze powiększenie oporu, jaki powietrze stawia prawidłowo biegnącemu pociskowi, na skutek ruchów pocisku dokoła jego środka ciężkości.

3. Zastosowanie do pocisku Stokes'a.

Celem bliższego zanalizowania zjawisk na torze pocisku Stokes'a wz. 18, przestudjuję jego lot na kilku najcharakterystyczniejszych przykładach.

Zestawienie 4 (rys. 7 linja pełna) podaje tor pocisku dla ładunku 0, kąta $74\frac{1}{4}^{\circ}$ zestawienie 5 dane wierzchołkowe toru dla wszystkich ładunków od 0 do 4 przy kącie 60°.

Zestawienie 4.

Tor pocisku Stokes'a wz. 18. Ładunek 0, kąt rzutu 74° 15'.

Odległość	Wysokość toru	Kąt nachylenia	Szybkość pozostała	Czas lotu	Uwagi
0 m	0 m	+ 74°15'	105,0 m/sek.	0 sek.	
10 m	35 m	73°42'	98,2 „	0,36 „	
20 m	68 m	73° 5'	91,5 „	0,73 „	
30 m	100 m	72°51'	84,9 „	1,11 „	
40 m	131 m	71°31'	78,5 „	1,50 „	
50 m	160 m	70°32'	73,9 „	1,91 „	
60 m	188 m	69°20'	65,9 „	2,34 „	
70 m	213 m	67°55'	59,8 „	2,77 „	
80 m	237 m	66° 9'	53,7 „	3,22 „	
90 m	260 m	63°43'	47,3 „	3,74 „	
100 m	278 m	61°11'	42,1 „	4,18 „	
110 m	295 m	57°20'	36,5 „	4,68 „	
120 m	309 m	52°35'	31,3 „	5,14 „	
130 m	321 m	45°31'	26,2 „	5,73 „	
140 m	330 m	35°54'	21,9 „	6,29 „	
150 m	335 m	21°50'	18,5 „	6,86 „	
160 m	337 m	3°13'	16,6 „	7,46 „	
164,8 m	338 m	0°	16,3 „	7,75 „	Wierzchołek
170 m	336 m	— 17°29'	16,8 „	8,07 „	
180 m	332 m	35°8'	19,0 „	8,70 „	
190 m	322 m	49°30'	23,1 „	9,36 „	
200 m	308 m	57°49'	27,1 „	10,04 „	
210 m	290 m	64°17'	32,2 „	10,74 „	
220 m	267 m	68°55'	38,4 „	11,47 „	
230 m	238 m	72°23'	43,2 „	12,22 „	
240 m	203 m	75° 3'	49,0 „	12.83 „	
250 m	163 m	77°20'	54,8 „	13,81 „	
260 m	116 m	78°50'	60,9 „	14,65 „	
270 m	66 m	80° 6'	66,7 „	15.46 „	
280 m	0 m	81°23'	73,6 „	16,40 „	

Zestawienie 5

Dane wierzchołkowe toru pocisku Stokes'a wz. 18 przy rozmaitych ładunkach, kącie rzutu 60°.

Ładunek	Kąt rzutu	Szybkość początkowa	Donośność	Odległość wierzchołkowa	Szybkość wierzchołkowa
0	60°	105 m/sek.	460 m	264,6 m	30,2 m/sek.
1	60°	138 m/sek.	780 m	444,5 m	39,5 m/sek.
2	60°	159 m/sek.	1100 m	633,5 m	46,3 m/sek.
3	60°	182 m/sek.	1380 m	791,3 m	52,4 m/sek.
4	60°	198 m/sek.	1620 m	926,9 m	56,8 m/sek.

Dane te pozwalają obliczyć
moment stabilizacyjny M
i kąt osi równowagi η_M,
na różnych punktach toru i na wierzchołku toru różnych ładunków.

Dla rachunku przyjąłem:

$$A = 190{,}7 \times 10^{-5}\ kgm\ sek^2,$$ [5])

$$P = 3\ kg,$$

$$\delta = \delta_0,$$

$$a = 0{,}081\ m,$$

$$R = \frac{\delta}{2\delta_0} \cdot \frac{q a^2}{P} v^2,$$

$$W = \frac{RP}{g} = \frac{\delta}{2\delta_0} \cdot \frac{q a^2}{g} \cdot v^2.$$

By podkreślić wagę czynnika l, względnie $l\varkappa = l'$, podaję w poniższych zestawieniach 6 i 7 spółczynnik W i D równań

$$M = Wl \tag{26}$$

$$\eta_M = \frac{D}{l\varkappa}. \tag{27}$$

Wartość q w tych zestawieniach ustaliłem następująco:

Zmienność q, jak to właśnie uzasadniam, pochodzi z braku stabilizacji pocisku na torze, skutkiem czego pocisk nie biegnie ostrzem wprzód, lecz zakreśla dokoła toru stożek, powiększając tem samem swój opór powietrza. Spółczynnik q nie odpowiada więc oporowi, jaki powietrze stawia *osiowo* biegnącemu pociskowi, lecz jakiemuś bocznemu położeniu pocisku (średniemu dla całego toru).

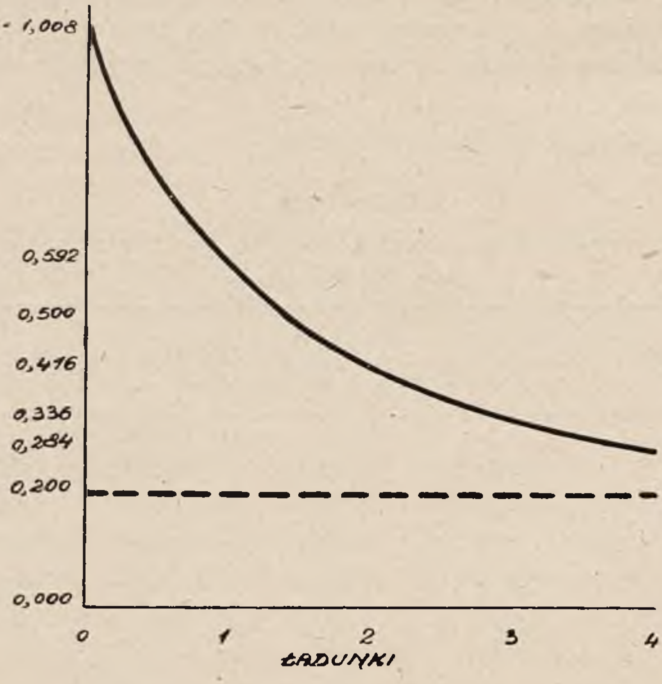
---

[5]) Wedle pomiarów inż. Smoleńskiego z Centralnej Szkoły Strzelniczej.

Tymczasem w obu wzorach na M i η_M [(26) i (27)] spółczynnik kształtu q oznacza opór powietrza przy osiowem położeniu pocisku. Wielkość ta, niezależnie od kształtu pocisku, względnie ciała, na które działa opór powietrza, jest stałą dla szybkości mniejszych od 240 m/sek. W zakresie więc badanym q dla *osiowego* położenia pocisku musi być stałe.

Jeżeli zaś zmienność q wynika z *nieosiowego* lotu pocisku, to q dla lotu osiowego musi być mniejsze od wszystkich q dla lotu nieosiowego.

Biorąc najniższe q dla każdego ładunku i zestawiając je na wspólnym wykresie (rys. 6) widzimy, że zdążają one asymptotycznie do pewnej wielkości, którą w przybliżeniu można przyjąć za 0,200.



Rys. 6.

Tę też wielkość przyjąłem jako q przy obliczaniu zestawień 6 i 7. Oczywiście cyfra ta nie może mieć pretensji do dokładności; ścisłą bowiem wielkość q mógłby dać tylko pomiar aerodynamiczny. Wobec tego jednak, że zamieszczone w tych zestawieniach liczby mają charakter wyłącznie porównawczy, jest w gruncie rzeczy obojętnem, ja-

ką rachuje się wielkością, byle tylko q było dla wszystkich liczb obliczenia jednakowe.

Zestawienie 6.

Elementy stabilizacji toru zestawienia 4.

Odległość w *m*	Kąt nachylenia	Szybkość pozostała w *m/sek*	*W* w *kg*	*D* w *m*
0	$+74^0 15'$	105,0	0,737	$1,50 \times 10^{-5}$
164,8	0^0	16,3	0,0178	$23,8 \times 10^{-5}$
280	$-81^0 23'$	73,6	0,360	$2,94 \times 10^{-5}$

Jak z zestawienia tego wynika, najgorsze rezultaty (najmniejsze M i największe η_M daje wierzchołek; z tego też względu, chcąc porównać stabilizację dwóch torów, wystarczy porównać ją u wierzchołków tych torów.

Porównanie to podaje zestawienie 7.

Zestawienie 7.

Elementy stabilizacji u wierzchołka toru pocisku Stokes'a wz. 18 przy kącie rzutu 60°.

Ładunek:	Odległość wierzchołkowa w *m*:	Szybkość u wierzchołka *m/sek*	*W* w *kg*	*D* w *m*
0	264,6	30,2	0,0602	$6,70 \times 10^{-5}$
1	444,5	39,5	0,104	$3,92 \times 10^{-5}$
2	633,5	46,3	0,143	$2,85 \times 10^{-5}$
3	791,3	52,4	0,184	$2,23 \times 10^{-5}$
4	926,9	56,8	0,216	$1,90 \times 10^{-5}$

Zestawienie to wykazuje w sposób zupełnie wyraźny, że:

1) moment stabilizacyjny wzrasta wraz z szybkością, a więc wraz z ładunkiem,
2) kąt między osią równowagi, a styczną do toru maleje wraz z ładunkiem.

Porównując ten wynik z poprzedniemi rozważaniami teoretycznemi, należy więc stwierdzić, że:

1) Pocisk Stokes'a wz. 18 jest ubrzechwiony prawidłowo (moment stabilizacyjny >0), skoro wraz z wzrostem szybkości rośnie jego stabilizacja, a więc maleje spółczynnik balistyczny.

2) Pocisk ten jest jednak ubrzechwiony niedostatecznie (mały moment stabilizacyjny skutkiem małej odległości punktu zaczepienia oporu powietrza od środka ciężkości pocisku), co widać z bardzo dużej zmienności spółczynnika balistycznego przy wzroście szybkości.

Małą tę stablizację potwierdza zresztą zarówno duży rozrzut przy strzelaniu tym pociskiem, jak i obserwacja oczna biegnącego pocisku.

Zmienność q z kątem rzutu.

Zmienność spółczynnika kształtu z kątem rzutu jest trudniejsza do wytłumaczenia. Jest ona bowiem stosunkowo tak nieduża, że może być poprostu pozorną, w wyniku tej lub tamtej metody rachunkowej.

W pierwszym rzędzie należy więc stwierdzić, czy nie jest ona przypadkowo wynikiem wadliwie przyjętych elementów (szybkość początkowa) lub nieodpowiedniej metody rachunkowej.

Że pierwsze przypuszczenie (wadliwe przyjęcie szybkości początkowej) jest mylne, wykazałem poprzednio.

Ażeby rozpatrzeć przypuszczenie drugie, należy spółczynniki balistyczne obliczyć inną metodą *(Otto-Lardillon)* i porównać je z danemi, uzyskanemi przy metodzie *Bernoulli-Didion.*

Tu jednak nasuwają się trzy trudności:

1) Tabele *Otto-Lardillon* zezwalają jedynie na liczenie przy kątach, będących całkowitemi wielokrotnościami 5^0. Interpolacja pomiędzy kątami rzutu daje rezultaty bardzo problematyczne.

2) Zasięg tabel jest niedostateczny, by obliczyć spółczynniki balistyczne dla kątów, niższych od 55^0.

Z tego też względu należało ograniczyć się do kątów 55^0, 60^0 i 70^0, a więc do rozpiętości mniejszej, niż przy cyfrach, uzyskanych metodą *Bernoulli-Didion,* a ponadto niekiedy interpolować cyfry w tabeli strzelniczej Stokes'a, by uzyskać dane dla pełnych kątów.

3) Jeżeli przeprowadzić rachunek metodą *Otto-Lardillon,* wychodząc wprost z czasów przelotu tabeli strzelniczej francuskiej, uzyskuje się szybkości początkowe większe, niż szybkości, uzyskane przy pomocy metody *Bernoulli-Didion,* jak o tem świadczy zestawienie 8.

Zestawienie 8.

Porównanie v_0 pocisku Stokes'a wz. 18 uzyskanych różnemi metodami balistycznemi.

Ładunek	Szybkość początkowa w m/sek. uzyskana metodą		Różnica	
	Bernoulli-Didion	Otto-Lardillon	w m/sek.	w % % szybkość
0	105	108	+ 3	+ 3
1	138	144	+ 6	+ 4
2	159	166	+ 7	+ 4
3	182	187	+ 5	+ 3
4	198	204	+ 6	+ 3

To, że szybkości są dla jednej metody balistycznej średnio o 3½ % większe, niż dla drugiej, nie jest zresztą dziwne; wynika to poprostu z zaokrągleń i przybliżeń, jakie każda z nich stosuje.

Jedynie pomiar mógłby wykazać, które z nich są bliższe prawdy; wobec braku dostatecznej ilości pocisków i ładunków wz. 18, nie mogłem go niestety uskutecznić.

W każdym razie byłoby błędnem rachować spółczynnik balistyczny dla metody *Otto-Lardillon* szybkościami, wyliczonemi z metody *Bernoulli-Didion*. Przy obliczaniu więc zestawienia 9-go stosowałem szybkości, właściwe metodzie *Otto-Lardillon*.

Zestawienie 9.

Zależność spółczynnika balistycznego pocisku Stokes'a wz. 18 od ładunku i kąta rzutu, przy stosowaniu metody Otto-Lardillon.

Kąt rzutu	Ładunek				
	0	1	2	3	4
55°	300	180	122	98,0	85,3
60°	291	179	121	97,2	83,8
70°	276	179	119	95,0	77,8

Uwaga: Cyfry zestawienia 9-go podają spółczynnik balistyczny (2c wedle oznaczenia tabeli Otto-Lardillon'a) pomnożony przy 10^5.

Malenie spółczynnika kształtu z kątem rzutu występuje i tu wyraźnie, zwłaszcza przy ładunku 0, 3 i 4.

Co jednak jest tu charakterystycznem, to fakt, że zmienność, choć widoczna, jednak jest o wiele mniejsza, niż przy cyfrach metody *Ber-*

noulli-Didion (25% dla ładunku 0, 21% dla ładunku 4 przy metodzie *Bernoulli-Didion*, a 9% dla ładunku 0 i 10% dla ładunku 4 przy metodzie *Otto-Lardillon).*

Ta różnica rozpiętości tłumaczy się z jednej strony różnicą w rozpiętości kątów (42—75" w pierwszym, 55—70° w drugim wypadku), z drugiej zaś i pewną cechą, charakterystyczną dla metody *Bernoulli-Didion*, cechą, która jest warta podkreślenia.

Oto spółczynik wyrównawczy ν w metodzie *Bernoul-Didion*, tak, jak go stosowano przy niniejszem obliczeniu i tak, jak jedynie można go stosować, jeśli chodzi o *praktyczny* rachunek, odnosi się do całego toru, skoro uwzględnia jedynie kąt rzutu i kąt upadku.

Kształt toru, w dużym stopniu różny od kształtu toru w próżni, nie upoważnia jednak do tak dalekich uproszczeń. Dlatego też prawidłowej byłoby rachować kolejnemi łukami i dla każdego z nich brać czynnik wyrównawczy. Że istotnie ten rachunek da odmienne rezultaty, świadczy o tem zestawienie 10-te.

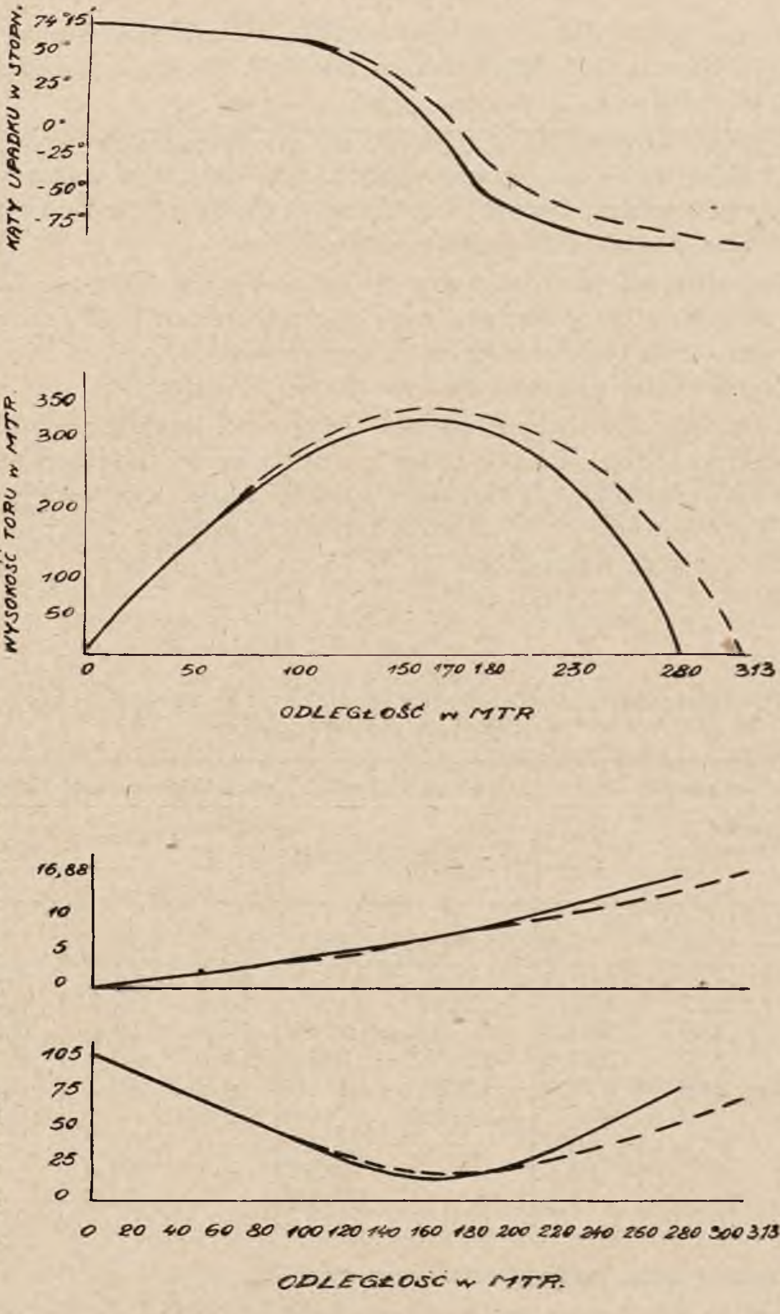
Zestawienie 10.

Porównanie toru zestawienia 4, liczonego metodą integralną, a kolejnemi łukami.

Odległość	Wysokość toru		Kąt nachylenia		Szybk. pozostała		Czas przelotu	
	metodą integr.	łukami	metodą integr.	łukami	metodą integr.	łukami	metodą integr.	łukami
	m.				m/sek.		sek.	
0	0	0	+74°15′	+74°15′	105	105	0	0
100	+278	+279,2	+61°11′	+61°36′	42,1	43,7	4,18	4,13
150	+335	+341,2	+21°50′	+31°5′	18,5	22,2	6,86	6,65
170	+336	+348,3	—17°29′	+ 2°45′	16,8	18,6	8,07	7,71
180	+332	+347,3	—35° 8′	—13°26′	19,0	18,9	8,70	8,25
230	+238	+297,0	—72°23′	—61°10′	43,2	35,1	12,22	11,08
280	0	—	—81°23′	—	73,6	—	16,40	—
300	—	+ 68,7	—	—78°41′	—	65,7	—	15,83
310	—	+ 15,6	—	—79°55′	—	69,4	—	16,63
315	—	— 1,6	—	—80°16′	—	69,8	—	16,88

Te same dane podaje naocznie rys. 7.

Punkt upadku toru, obliczonego łukami, znajduje się więc na odległości 312,7 m, przy kącie upadku 80°14′, czasie przelotu 16,86 sek. i szybkości pozostałej 69,8 m/sek.



Rys. 7.

Rys. 7a podaje wysokości torów i kąty nachyleń.
Rys. 7b „ szybkości pozostałe i czasy przelotu.
Tor rachowany integralnie jest narysowany linją grubą.
„ „ łukami jest na rysowany linją kreskowaną.

Jak widać więc, spółczynnik kształtu został przy zastosowaniu integralnej metody liczenia ustalony wadliwie; jest on zbyt mały, ponieważ przy dokładnej metodzie rachunkowej okazuje się, iż pocisk leciałby dalej, niż biegnie istotnie.

Właściwy spółczynnik kształtu można w przybliżeniu obliczyć z wzoru różnicowego

$$\frac{\Delta X}{X} = \frac{\operatorname{tg}\omega - \operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\omega} \cdot \frac{\Delta q}{q} \tag{28}$$

co daje $\frac{\Delta q}{q} \sim 0{,}175$, a więc $q = 1{,}008 \times 1{,}175 = 1{,}184$.

Analogicznie przedstawia się sprawa i dla kąta rzutu 42°, jak o tem świadczy zestawienie 11-te i rysunek 8.

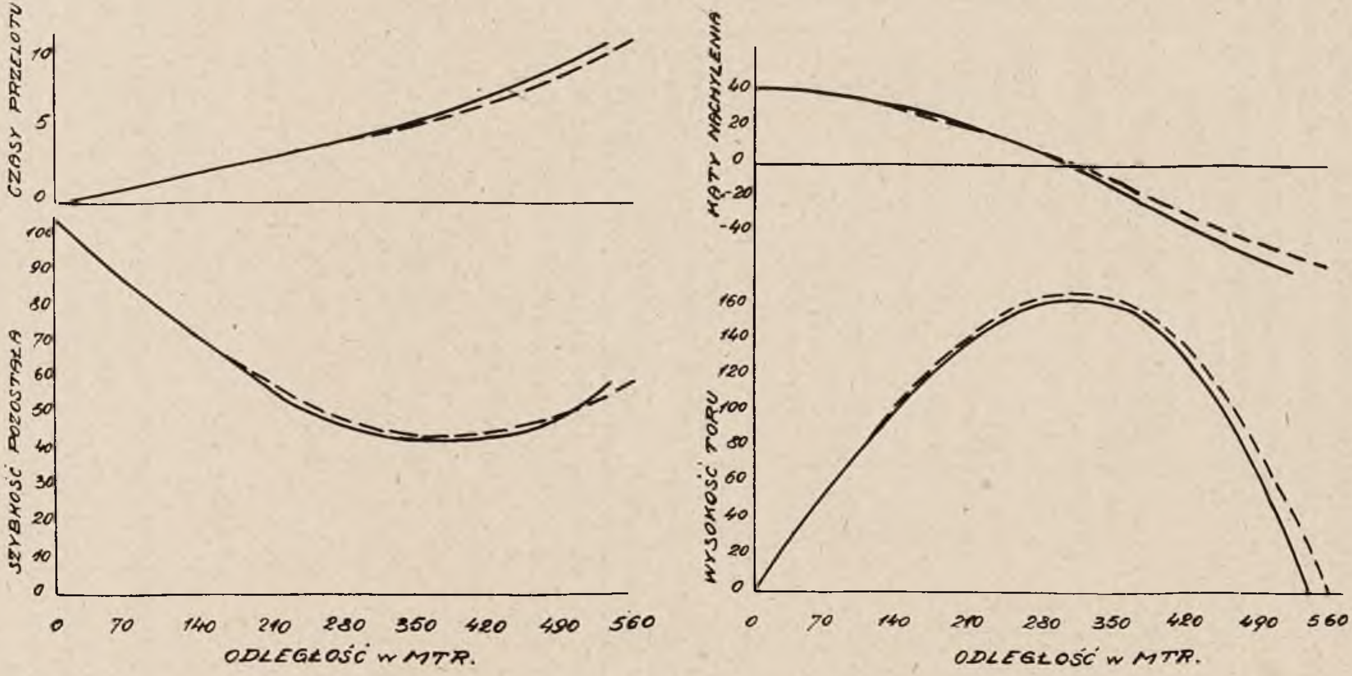
Zestawienie 11.

Tor pocisku Stokes'a wz. 18 przy ładunku „0", kącie rzutu 42°, liczony metodą integralną i kolejnemi łukami.

Odległość	Wysokość toru		Kąt nachylenia		Szybk. pozostała		Czas przelotu	
	metodą integr.	łukami	metodą integr.	łukami	metodą integr.	łukami	metodą integr.	łukami
	m.				m/sek.		sek.	
0	0	0	+42°	+42°	105,0	105,0	0	0
200	138,9	139,3	+23°33′	+22°53′	60,0	61,2	3,06	3,04
300	164,3	166,3	+ 2°54′	+ 4°37′	46,5	48,7	5,04	4,96
310	164,6	—	+ 0°15′	—	45,6	—	5,26	—
311	164,6	—	— 0°2′	—	45,4	—	5,28	—
320	—	167,1	—	— 0°16′	—	47,2	—	5,38
350	160,8	—	—11°12′	—	43,4	—	6,17	—
360	—	163,2	—	—10°48′	—	44,5	—	6,25
420	132,5	—	—32°4′	—	44,5	—	7,91	—
435	—	134,0	—	—31°7′	—	46,7	—	8,01
540	0	—	—58°50′	—	59,2	—	11,45	—
555	—	9,2	—	—57°14′	—	57,8	—	11,41
560	—	+1,2	—	—58°4′	—	—	—	—
561	—	—0,3	—	—58°14′	—	58,5	—	11,60

Punkt upadku toru, obliczonego kolejnemi łukami, znajduje się mianowicie na odległości 560,8 m, przy kącie upadku 58°12′, czasie przelotu 11,59 sek. i szybkości pozostałej 58,5 m/sek.

Przeliczając, jak poprzednio spółczynnik balistyczny, otrzymamy spółczynnik poprawny $q = 1{,}366$.



Rys. 8.

Rys. 8a podaje wysokości torów i kąty nachyleń.
Rys. 8b „ szybkości pozostałe i czasy przelotu.
Tor rachowany integralnie jest narysowany linją grubą.
„ „ łukami jest narysowany linją kreskowaną.

O ile więc poprzednio (przy rachunku integralnym) różnica spółczynnika balistycznego wynosiła $1,256 - 1,008 = 0,248$ na $32,25^0$ a więc na jeden stopień średnio $\frac{0,248}{32,25} = 0,0077$ (w procentach $100 \cdot \frac{0,0077}{1,008} = 0,76\%$), o tyle po poprawieniu, różnica ta wynosi na jeden stopień $\frac{1,366 - 1,184}{32,25} = \frac{0,185}{32,25} = 0,0057$ (w procentach $100 \times \frac{0,0057}{1,184} = 0,48\%$), co zgadza się w ogólnych zarysach z różnicą, uzyskaną przy metodzie *Otto-Lardillon:*

$$\frac{300 - 276}{15} = \frac{24}{15} = 1,6 \text{ (w procentach } 100 \times \frac{1,6}{276} = 0,58\%).$$

Rezultaty te nasuwają dwie uwagi:

1) Rachowanie metodą *Bernoulli-Didion* przy rachunkach integralnych prowadzi do dość dużych omyłek w spółczynniku balistycznym. Natomiast omyłki co do czasu przelotu, kąta upadku i szybkości pozostałej są nieduże i — w stosunku do wartości praktycznej tych elementów — bez znaczenia. Z tego względu niema powodu, by przy rachunku praktycznym zastępować szybką metodą rachunku integralnego żmudnem i uciążliwem rachowaniem łukami kolejnemi, zwłaszcza lufę, ciśnienie w niej jest bardzo małe, niewystarczające, by ne, a więc mniej dokładne już w samem swem założeniu, a ponadto na elementy, których dokładność jest dla strzału praktycznego z tak prymitywnej broni, jak Stokes, bez znaczenia.

2) Malenie spółczynnika balistycznego wraz z wzrostem kąta rzutu jest niezależne od metody balistycznej, użytej do jego wypośrodkowania.

Czy jednak na tej podstawie wolno wnioskować, że istnieje jakaś *przyczyna* natury fizycznej, która powoduje te zmiany spółczynnika?

Wniosek ten wydawałby mi się zbyt pochopnym.

Cyfry, na których opieram powyższe wywody, oparte są wyłącznie na zasadzie tabeli strzelniczej, a nie na materjale doświadczalnym

Niewiadomo mi więc, ani jaką metodą rachunkową cyfry te uzyskano, ani też jakie zaokrąglenia przeprowadzono w wynikach rachunku i w cyfrach, podanych przez doświadczenie.

Wysnuwać więc teorję na zasadzie tak kruchych danych, przy tak małej zmienności spółczynnika balistycznego, wydaje mi się rzeczą dość wątpliwej wartości.

Chciałbym jedynie nawiasowo napomknąć, że istnieją pewne, zaobserwowane i stwierdzone objektywnym materjałem doświadczalnym fakty, któreby mogły uzasadnić istotną *fizyczną* przyczynowość tego malenia spółczynnika balistycznego w miarę wzrostu kąta rzutu.

Są niemi mianowicie obserwacje, poczynione przez por. *Kapkowskiego* z Centralnej Szkoły Strzelniczej przy okazji badanego przez niego zachowania się lufy moździerza Stokes'a w czasie strzału.

Dane te, które zostały wstrzelane za moją zachętą, m. in. dla wyjaśnienia przyczyn omawianego tu zjawiska zmienności spółczynnika kształtu, będą przedmiotem osobnej publikacji. Tymczasem podaję jedynie ważny dla niniejszych wywodów wniosek:

Por. Kapkowski stwierdził mianowicie, że lufa moździerza Stokes'a, cofając się w czasie strzału, wykonuje przy powrocie pewien ruch poprzeczny (w stosunku do osi lufy), głównie w płaszczyźnie pionowej. Ruchy w płaszczyźnie poziomej są mniejsze. Wielkość ruchów poprzecznych (właściwy podrzut) wzrasta wraz z wzrostem kąta rzutu, ale sam przebieg ruchu jest o tyle charakterystyczny (rys. 9), że przy małych kątach ruch poprzeczny (w płaszczyźnie pionowej) rozpoczyna się prawie równocześnie z powrotem lufy do przodu, podczas gdy przy dużych kątach mamy w większości wypadków początkowo prawie że osiowy powrót lufy, a podrzut jej zaczyna się dopiero po pewnym czasie [6]).

Otóż zarówno obserwacja oczna, jak i objektywne wykresy doświadczalne wykazują, że powrót lufy następuje wcześniej, zanim pocisk zupełnie opuści lufę, a mianowicie z chwilą, gdy brzechwy przechodzą przez wylot. Jest to zresztą dość zrozumiałe. Długa, a nieszczelna lufa pozwala gazom użytego w niej, bardzo szybkostrzelnego prochu, uchodzić przed pociskiem, tak, że w chwili, gdy pocisk opuszcza lufę, ciśnienie w niej jest bardzo małe, niewystarczające, by przeciwdziałać sile odbicia lufy, gwałtownie w pierwszej chwili ruchu pocisku wtył rzuconej od stalowej płyty podstawowej.

Skutkiem tego, zwłaszcza przy małych kątach rzutu, powracająca lufa, obracając się równocześnie w płaszczyźnie pionowej, daje pewne, dość silne uderzenie wylatującej z niej właśnie brzechwie pocisku, nadając tem samem pociskowi gwałtowne ruchy poprzeczne. To chy-

---

[6]) O ile bowiem podany na rys. 9 wykres dla kąta 45° jest charakterystyczny i powtarzający się stale, o tyle wykres dla 60°, a zwłaszcza 75° jest znacznie mniej regularny; zdarzają się linje, podobne do wykresu dla 45°. W przeważającej jednak większości wypadków, zwłaszcza dla ładunków silniejszych, wykres ma charakter podobny do podanego na rys. 9, a mianowicie początkową linję powrotu równoległą do osi lufy.

botanie pocisku jest zwłaszcza przy małych ładunkach doskonale widoczne gołem okiem. Przy kącie rzutu 45° można zresztą przez umyślnie chwiejne ustawienie podstawy osiągnąć, że uderzenie lufy będzie tak silne, iż całkowicie skoziołkuje wylatujący z niej pocisk. Lufa wtedy po strzale wywraca zwykle wraz z nóżkami.

Przy strzelaniu silniejszemi kątami, podrzut lufy, choć silniejszy, następuje w większości wypadków dopiero wtedy, gdy pocisk opuścił lufę; pierwszy bowiem powrót lufy następuje prawie zupełnie osiowo. Tem samem i uderzenie wylotowe pocisku jest mniejsze, a więc i jego chybotanie słabsze.

Jasnem zaś jest, że silniejsze chybotanie (przy małych kątach rzutu) i tak niezbyt dobrze ustabilizowanego pocisku opóźniać musi jego moment całkowitej stabilizacji, a tem samem niekorzystnie powiększać spółczynnik kształtu. Fakt więc większego chybotania początkowego przy małych kątach, niż przy dużych, mógłby być wytłumaczeniem większego spółczynnika balistycznego przy mniejszym, niż przy większym kącie rzutu.

Oczywiście, zgodnie z powyższem zastrzeżeniem, podaję ten fakt jedynie dla zwrócenia uwagi na istnienie takiego zjawiska. Wiązanie tych obu rzeczy, charakteru podrzutu i zmienności spółczynnika balistycznego, wydaje mi się niemożliwem wobec małej zmienności cyfr i małej znajomości ich pochodzenia, zwłaszcza, że — jak to wyżej podkreśliłem — istnieją — wyjątkowo coprawda — wypadki, w których i przy większych kątach powrót lufy nie jest zupełnie osiowy.

5) Wnioski.

Z powyższych rozważań teoretycznych i z dyskusji nad uzyskanemi przez przeliczenie tabeli strzelniczej pocisku Stokes'a wz. 18 danemi można wysnuć następujące wnioski, odnośnie opracowania tabeli strzelniczej dla pocisku wz. 24 (nowego wzoru):

1) Należy dane Stokes'a *wstrzelać* dla *każdego* ładunku zosobna.

2) W każdym ładunku należy wstrzelać *3 kąty*, dwa skrajne i jeden środkowy. Jako kąty przyjęto 41°, 60° i 75°.

3) Należy zmierzyć *czasy przelotu* dla

a) kontroli v_0,

b) uniezależnienia danych od wpływu wiatru.

4) Wobec tego, że czasy przelotu dają tylko przybliżone wartości v_0, należy mierzyć v_0, na aparacie Boulangé.

III. WSTRZELIWANIE DANYCH DLA POCISKU WZ. 24.

1) Wstrzeliwanie donośności i czasów przelotu.

Do strzelania użyto pocisków ćwiczebnych (wypełnionych wewnątrz masą bierną), o wadze od 3,280 kg do 3,120 kg.

Przed przystąpieniem do prób zważono dokładnie wszystkie 250 pocisków, przeznaczonych do badania, a następnie rozsegregowano je w ten sposób, by każde 10 pocisków, przeznaczonych do jednego strzelania, zawierało jednakowy procent ciężarów poszczególnych pocisków, a mianowicie:

ciężaru	3,280	do	3,260	kg.	2	pociski
„	3,259	do	3,240	„	4	„
„	3,239	do	3,230	„	2	„
„	3,225	do	3,195	„	1	„
„	3,185	do	3,120	„	1	„

(Szczegółowe dane ciężaru pocisków podaje zestawienie 12).

Prócz tego do każdego strzelania przeznaczono 2 pociski próbne.

Strzelania odbywały się na dokładnie w terenie wymierzonej i wytyczonej osi, długości 2000 metrów. Teren obrano możliwie płaski (różnice poziomów nie przekraczały $\pm$ 3 m). Do nadania kierunku służyły dwie tyczki, określające oś strzelania. Na tyczki te nastawiano moździerz przy pomocy pionu. Moździerz był zabudowany, płyta podstawowa spoczywała w prostokątnem wycięciu w ziemi, zaś dwójnóg swemi ostrogami w małych dołkach z nieporuszoną ziemią wokół tych wykopów.

Przed strzelaniem badano warunki atmosferyczne przy pomocy termometru, barometru i wiatromierza; dane wciągnięto do protokółów strzeleckich. Jeżeli siła wiatru przekraczała 4 m/sek., strzelanie przerywano.

Strzelanie przeprowadzono w sposób następujący:

Po przeprowadzeniu wszystkich prac przygotowawczych jeden z obserwatorów udał się na miejsce, skąd będzie mógł widzieć padające pociski, drugi zaś zostawał przy stanowisku. Po oddaniu strzałów próbnych i stwierdzeniu miejsca padania — obydwaj obserwatorzy zajmowali miejsce przy aparatach telefonicznych z chronometrami w ręku. Obserwator przy stanowisku podawał telefonicznie w chwili strzału obserwatorowi w miejscu, pobliskiem padania pocisków, hasło puszczenia w ruch chronometru. Odwrotnie obserwator, śledzący padanie pocisków, dawał telefonicznie hasło zatrzymania chronometru. W ten sposób czas przelotu był mierzony przez obydwóch obserwato-

Zestawienie 12.

Ciężary pocisków, użytych do prób.

Waga pocisku	Ilość		Ilość procentowa w danej kategorji	Ilość pocisków danej kategorji w serji 10 strzałów
	ogólna	procentowa		
3,280	3	1,2%		
3,275	9	3,6%		
3.270	4	1,6%	18,8%	2
3,265	9	3,6%		
3,260	22	8,8%		
3,255	33	13.2%		
3,250	50	20,0%	44,8%	4
3,245	29	11,6%		
3,240	25	10,0%		
3,235	24	9,6%	22,4%	2
3,230	7	2,8%		
3,225	3	1,2%		
3,220	3	1,2%		
3,215	1	0,4%		
3,210	1	0,4%	5,2%	1
3,200	2	0,8%		
3,195	3	1,2%		
3,185	3	1,2%		
3,180	1	0,4%		
3,175	1	0,4%		
3,170	1	0,4%		
3,160	3	1,2%		
3,155	1	0,4%	8,4%	1
3,140	2	0,8%		
3,130	6	2,4%		
3,125	2	0,8%		
3,120	1	0,4%		

rów. Prócz tego obserwator przy stanowisku sprawdzał po każdym strzale kierunek i kąt.

Przeprowadzony w ten sposób pomiar czasów przelotu jest oczywiście niezmiernie prymitywny. Przy dużej jednak wprawie obserwatorów i dużej uwadze z ich strony, różnice pomiędzy czasem rzeczywistym, a czasem mierzonym nie są większe, niż $\pm$ 0,1 sek., tak, że można przyjąć, iż czas został zmierzony z dokładnością do 0,2 sek. Dla celów praktycznych i dla kontroli wstrzelanej szybkości początkowej dokładność ta jest zupełnie wystarczająca.

Warto przytem zauważyć, że powtórzone serje dają czasy przelotu prawie identyczne czasom, mierzonym przy serji pierwotnej, co wskazuje, że — mimo dużej prymitywności — metoda ta daje cyfry dość bliskie rzeczywistości.

Po oddaniu w ten sposób 10-ciu strzałów, każdy punkt upadku odmierzono przy pomocy taśmy mierniczej, w stosunku do osi strzału i w stosunku do punktu stałego na tej osi, oznaczając go w metrykach jako „punkt zasadniczy".

W tych warunkach przeprowadzono 15 strzelań, oznaczonych numerami 1 do 15.

Z tych strzelań strzelania 1, 4, 5, 6, 8 i 14 wydawały się podejrzane, ze względu na nieprawidłową budowę rozrzutu.

Wobec tego więc, że dodatkowe oddanie strzałów w identycznych z próbą warunkach było wykluczone, a dla rachunku należało posługiwać się wyłącznie danemi, nie wzbudzającemi żadnej wątpliwości, strzelania te powtórzono raz jeszcze.

Dla jasności strzelania te oznaczono jako strzelania 1a, 4a, 5a, 6a, 8a i 14a.

Wyniki średnie uzyskane w tych strzelaniach podaje zestawienie 13.

Zestawienie 13.

Średnie dane wstrzelane do pocisku wz. 24.

Strzelanie Nr.	Ładunek	Kąt rzutu w stopn.	Donośność (w m)	Czas przelotu (w sek.)
1	0	41	470	9,26
2	0	60	417	12,18
3	0	75	235	13,86
4	1	41	804	12,30
5	1	60	706	16,32
6	1	75	404	18,37
7	2	41	1191	15,15
8	2	60	1020	19,81
9	2	75	602	21,98
10	3	41	1582	17,41
11	3	60	1328	22,77
12	3	75	779	25,50
13	4	41	1893	19,37
14	4	60	1657	25,33
15	4	75	886,5	27,89
1a	0	41	479	—
4a	1	41	832	12,30
5a	1	60	724	16,30
6a	1	75	429	18,37
8a	2	60	1018	—
14a	4	60	1636	—

Wobec bardzo prymitywnych metod nadawania kierunku, dane co do kierunku i rozrzutu wszerz są znacznie mniej miarodajne, niż co do donośności i rozrzutu w głąb.

Przy obliczaniu średnich stosowano dla czasów przelotu metodę przeciętnych (średnich arytmetycznych), natomiast dla donośności metodę środka, t. j. punktu, przed którym i za którym znajduje się równa ilość strzałów, a to z tego względu, że na podstawie rozważań teoretycznych nad budową rozrzutu stwierdzono, iż wielkość ta bliższa jest donośności „teoretycznej", niż punkt przeciętny, uzyskany metodą średnich arytmetycznych.

2) Wstrzeliwanie szybkości początkowych.

Przy strzelaniu tem, ze względu na urządzenia, jakie C. S. S. podówczas posiadała, należało strzelać poziomo, a nie pod kątem.

Istnieje teoretyczna możliwość, że tak uzyskane dane różnić się będą od szybkości, jakie pocisk istotnie otrzymuje przy strzelaniu pod kątem stromym.

Z jednej jednak strony różnice te nie mogą być zbyt duże, z drugiej zaś dane co do szybkości można zawsze skontrolować cyframi, uzyskanemi przez wstrzelanie czasów przelotu, a więc przy strzelaniu pod kątem.

Zresztą drobne różnice, jakieby tu zachodziły, nie mogą grać wielkiej roli przy i tak koniecznem zaokrągleniu dla obliczania tabel.

Nawiasem dodaję, że strzelania, przeprowadzone o wiele później przez kpt. *Szottka* z Centralnej Szkoły Strzelniczej, potwierdziły powyższe rozumowanie, okazały mianowicie ,że różnice szybkości początkowych przy strzelaniu z lufy poziomej i pod dużemi kątami są nieznaczne i mieszczą się w granicach błędu doświadczalnego.

Dla przeprowadzenia tego strzelania trzeba było przedewszystkiem zbudować odpowiednie stanowisko, gdyż warunki jego są inne niż przy strzelaniu zwykłem, gdzie moździerz spoczywa na płycie, umieszczonej w ziemi. Wobec tego, że lufa moździerza musi leżeć poziomo, trzeba zbudować takie stanowisko, któreby nie pozwalało na cofanie się moździerza po każdym strzale. Zbudowano je z darni, w ten sposób, że moździerz umieszczono w dwu dwójnogach, nadając lufie położenie poziome; za dwójnogami rozłożono grube deski, a za niemi dopiero zbudowano wał z darni grubości 1 do 2 m, który miał zatrzymać podstawę i lufę przy odrzucie do tyłu. Wał ten obmurowano z boków i z góry. W ten sposób podstawa moździerza została silnie umocowana w darni, pozwalając na strzelanie bez obawy cofnięcia się jej do tyłu.

Po wbudowaniu moździerza trzeba było zabezpieczyć oś i całą strzelnicę przed pociskami. W tym celu ułożono na 30 metrów przed

moździerzem kopiec z darni, który miał pociski zatrzymywać. Zabezpieczenie to okazało się jednak nie zawsze wystarczające, gdyż przy strzelaniu ładunkiem trzecim i czwartym pociski przechodziły przez kopiec, nie odlatując jednak daleko i nie wyrządzając większych szkód.

Tarcze z drucikami ustawiono w ten sposób, że pierwsza tarcza była oddalona na 50 cm od wylotu lufy, druga zaś na 10 m od pierwszej. Pomiar odnosił się więc do $v_{5,5}$.

Ładowanie odbywało się w ten sposób, że dopychano pocisk wyciorem aż do dna, a zamek, o zapalaniu dennem, umyślnie dorobiony w warsztatach C. S. S., pozwalał na strzelanie przy poziomem położeniu lufy.

Każdym ładunkiem oddano 10 strzałów. Otrzymano następujące szybkości średnie:

ładunek 0 — 68,3
,, 1 — 86,8
,, 2 — 108,5
,, 3 — 125,1
,, 4 — 132,4.

Porównując szybkości te z szybkościami wyliczonemi z czasów przelotu pocisku, okazało się (jak to widać z zestawienia 14), że szybkości wstrzelane są dużo mniejsze od szybkości obliczonych.

Zestawienie 14.

Porównanie szybkości wstrzelanych i obliczonych.

Ładunek	Szybkości wstrzelane	Szybkości obliczone			Średnio
0	68,3	70,07	68,62	73,31	70,7
1	86,3	97,87	97,88	100,38	98,7
2	108,5	118,49	117,74	114,84	117,0
3	125,1	134,91	127,74	138,00	133,5
4	132,4	153,74	150,95	155,59	153,4

Różnica ta, jak to dalej omówię, okazała się tak duża, że nie można jej było uzasadnić niczem innem, jak tylko jakimś systematycznym błędem pomiaru. Przy bliższej analizie jego źródła nasunęło się przypuszczenie, że może niem być zbyt bliskie umieszczenie pierwszej ramy przy wylocie lufy moździerza. Lufa moździerza Stokes'a nie jest bowiem szczelną, a gazy, wylatując prędzej z lufy, niż sam pocisk, mogą przerywać druciki przed pociskiem, powiększając pozornie czas przelotu pocisku, a tem samem zmniejszając pozornie jego szybkość.

Ażeby więc sprawdzić, czy nie tu tkwi istota błędu, należało strzelanie powtórzyć po raz drugi, umieszczając tarczę pierwszą na 5 m, drugą zaś na 15 m przed wylotem lufy moździerza, by uniemożliwić przez to przerywanie drucików przez gazy (pomiar odnosił się więc do v_{10}).

Wyniki strzelania ponownego potwierdziły przypuszczenie co do źródła błędu; zgadzają się one bowiem w przybliżeniu z szybkościami, wyliczonemi z czasów przelotu pocisku (zestawienie 15).

Zestawienie 15.

Porównanie szybkości wstrzelanych ponownie, a obliczonych.

Ładunek	Szybkość wstrzelana	Szybkość przeliczona na V_0	Szybkość przeliczona ponownie na V_0	Szybkość obliczona z czasów przelotu
0	69,5	69,7	69,6	70,7
1	90,9	91,1	90,0	98,7
2	112,9	113,1	113,0	117,0
3	130,6	130,9	130,75	1[illegible]3,5
4	146,3	146,7	146,5	153,4

Przy strzelaniu ponownem moździerz umocowano na trzech dwójnogach, ponieważ poprzednie strzelania wykazały, że dwa są za słabe; przy strzelaniu ładunkiem czwartym dwójnóg tylny został mianowicie dość znacznie wygięty, pierścienie zaś, nie mając pasów na lufie, nie mogły powstrzymać odrzutu lufy, tak, że lufa po każdym strzale odlatywała dosyć daleko wtył. Dodanie trzeciego dwójnoga pomogło o tyle, że żaden z nich nie został pogięty, na powstrzymanie jednak odrzutu lufy nie wiele wpłynęło. Pomimo to wyniki strzelania należy uważać za prawidłowe. W równaniu bowiem $v = \frac{x}{t}$ x jest stałe (10 m), a że mierzone v odnosi się raz do v_{10}, drugi zaś np. do v_{11}, to — wobec minimalnego wpływu oporu powietrza (jak to dalej wykażę) — ma to dla pomiaru znaczenie, praktycznie biorąc, żadne.

Z tego też względu i wobec stosunkowo dużej zgodności cyfr obliczonych z cyframi wstrzelanemi, te ostatnie dane przyjęto za podstawę rachunku.

3) Przeliczenie wyników.

Dane wstrzelane należało wpierw uniezależnić od wpływu wiatru. Ponieważ dla pocisku wz. 24 nie było absolutnie żadnych da-

nych, nie można przy uniezależnianiu postępować z nim tak, jak z pociskami w przybliżeniu znanemi, przy których oblicza się przybliżoną poprawkę na wiatr, odejmując ją od cyfry wstrzelanej i obliczając w ten sposób wszystkie elementy toru, zawarte w formułce na wiatr, poczem oblicza się przy ich pomocy ponownie poprawkę, odejmuje się ją znów od danych wstrzelanych i tak, drogą kolejnych przybliżeń, dochodzi się do wyników ostatecznych. Przy pocisku znanym droga ta jest zbieżna i to zbieżna dość szybko. Przy nieznanym. natomiast łatwo może się okazać rozbieżną, lub zbieżną zbyt powoli.

Tu więc jedyną drogą, jaką można było stosować, to użyć — zamiast wzorów integralnych, dających odrazu poprawkę na wiatr — wzory różnicowe (ruchu względnego), oddzielające od siebie wpływ szybkości początkowej od wpływu wiatru, a mianowicie:

(29) $$X_r = X - t w,$$

(30) $$v_r^2 = v_0^2 + w^2 - 2 v_0 w \cos\alpha,$$

(31) $$\operatorname{tg} \alpha_r = \frac{v_0 \sin\alpha}{v_0 \cos\alpha - w},$$

gdzie znacznik r oznacza wielkości zredukowane, a w szybkość wiatru (Cranz wyd. 2, tom I str. 269).

Stosowanie wzoru 30 okazało się zbędne, wobec minimalnej różnicy między v_r a v_0.

Jako v_0 przyjęto dane przybliżone z pierwszego strzelania na v_0, a mianowicie 70, 90, 110, 130 i 150 (zestawienie 15), t wstawiono zmierzone bezpośrednio.

Wyniki obliczeń przedstawia zestawienie 16.

Przy pomocy tych danych obliczono v_0 w sposób identyczny, jak to uczyniono dla pocisku Stokes'a wz. 18 (patrz I. 3. wz. (15) i (16).

Przy tej okazji zauważono dużą rozbieżność danych pomiędzy sobą (co było do przewidzenia, wobec niepewnych metod pomiaru czasu przelotu) i z danemi wstrzelanemi na aparacie Boulangé.

By te dane móc porównać, trzeba było zamienić $v_{5,5}$ na v_0. Do tego trzeba znać q.

Wychodząc więc z obliczonego $\Theta\left(\frac{X}{k}\right)$ znajduje się $E\left(\frac{X}{k}\right)$, a przy jego pomocy (p. wzór (12)) $tg\,\varphi = tg\,\alpha\, E\left(\frac{X}{k}\right)$.

Z φ i α oblicza się ν (wzór (13)).

Następnie z $\frac{X}{k}$ i X oblicza się

Zestawienie 16.

Wynik rachunku na uniezależnienia danych.

Ładunek	Donośność wstrzelana	Donośność poprawiona		Kąt wstrzelany	Kąt poprawiony	
		po raz pierwszy	ponownie		po raz pierwszy	ponownie
0	470	467	467	41°	41°10'40''	41°10'50''
	417	397	397	60°	61° 7'40''	61° 8' 0''
	235	225	225	75°	75°33' 0''	75°35' 0''
1	804	845	—	41°	39°35'40''	—
	706	757	—	60°	58°11'10''	—
	404	461	—	75°	72°48'30''	—
2	1191	1184	1184	41°	41° 9'40''	41° 9'20''
	1020	1011	1012	60°	60°11'30''	60°11'20''
	602	593	593	75°	75°12'50''	75°12'30''
3	1582	1553	1553	41°	41°28'40''	41°28'30''
	1328	1314	1314	60°	62°10'30''	60°10'20''
	769	753	754	75°	75°15'30''	75°15'20''
4	1893	1855	1856	41°	41°29' 0''	41°29'40'
	1657	1610	1611	60°	60°35'30''	60°36'40''
	886,5	853	854	75°	75°25'50''	75°26'30''
0	479	—	461	41°	—	42° 3'40''
1	832	—	813	41°	—	41°26' 0''
	724	—	706	60°	—	60°36'30''
	429	—	393	75°	—	76° 7'40''
2	1018	—	1004	60°	—	60°18'30''
4	1656	—	1627	60°	—	60° 7'10''

(18) $$\frac{1}{k} = \frac{X}{k} \cdot \frac{1}{X}$$

a stąd q (patrz I.3 (wzór (19)).

Metoda ta daje bardzo wątpliwe wyniki, wobec wielkiej niepewności t, a więc i Ⓗ$\left(\frac{X}{k}\right)$, daje jednak pewne wytyczne.

Poszczególne q obliczone tą drogą, podaje zestawienie 17.

Zestawienie 17.

Wielkość q obliczona z czasów przelotu.

Ładunek	0			1			2			3			4		
Kąt	41°	60°	75°	41°	60°	75°	41°	60°	75°	41°	60°	75°	41°	60°	75°
q	0,2062	0,0709	0,5171	0,2369	0,2430	0,3946	0,2339	0,2268	0,1445	0,1722	0,0413	0,2188	0,2038	0,1534	0,2563

Średnio $q = 0,2213$

Tak zdobytym q przerachowuje się $v_{5,5}$ na v_0, a mianowicie: Wobec poziomego rzutu $\nu = 1$, czyli (patrz wzór (4))

(32) $$\frac{1}{k} = q \cdot \frac{a^2}{P} \cdot \frac{\delta}{\delta_0}.$$

Stąd

(23) $$\frac{X}{k} = X \cdot \frac{1}{k}$$

i wobec tego że $\cos \alpha = \cos \varphi = 1$ (strzał poziomy)

(34) $$v_0 = v_{5,5}\ V\left(\frac{X}{k}\right)$$ (p. wzór (13))

Jak jednak pobieżna ocena tej metody okazała, tak uzyskane cyfry powiększały v wstrzelane ledwo o 1%, co nie mogło wyrównać dużych różnic między v obliczonemi, a wstrzelanemi.

Powtórzenie pomiaru v_0 okazało się więc konieczne, jak to wyżej omówiłem.

W jego wyniku dane wstrzelane zbliżyły się do danych obliczonych; różnice można tłumaczyć błędami obserwacji czasu przelotu tak niepewnym systemem.

Te nowe szybkości wprowadzono w rachunek i przy ich pomocy obliczono dane szybkości początkowej, podane w zestawieniu 15 jako „szybkość przeliczona na v_0".

Na podstawie powyższych danych można przystąpić już do obliczenia spółczynnika kształtu. Do tego należy ustalić P i δ_0.

P (ciężar) przyjęto średni z zestawienia 12, a mianowicie okrągło 3,240 kg.

δ_0 przyjęto za równe 1,2345 kg/m^3, a to z następujących względów:

a) Z podanych na tab. XX. książki *W. Gorczyńskiego* i *S. Kosińskiej* „O temperaturze powietrza w Polsce" (Warszawa 1916) izoterm rocznych na poziomie rzeczywistym, wynika, że temp. $+ 7^0$ odpowiada najlepiej średnim warunkom, panującym w Polsce.

b) Z podanych na tab. XV. książki *W. Gorczyńskiego* „O ciśnieniu powietrza w Polsce i w Europie" (Warszawa 1917), wynika, że średnie ciśnienie roczne w Polsce na poziomie morza zawarte jest między 761 a 762,5 mm.

Uwzględniając, że średnia wysokość Polski wynosi 150 m nad poziomem morza (*Lencewicz* „Kurs Geografji Polski", Warszawa 1922, str. 31) uzyskujemy, przy pomocy tabeli, podanej u *Gorczyńskiego* l. c. na str. 40, że średnie ciśnienie na poziomie rzeczywistym zawarte jest między okrągło 747 a 748,5 mm rtęci. Dla zaokrąglenia tej cyfry nale-

ży uwzględnić, że w miesiącach letnich, a więc ważniejszych dla działań wojennych, ciśnienie jest naogół bliższe dolnej granicy. Dlatego też przyjęto zaokrąglenie wdół do 745 mm.

c) Wilgoć 50% przyjęto dla prostoty obliczeń, wobec minimalnego wpływu, jaki ten czynnik wywiera na strzał moździerza i wogóle broni piechoty.

Te trzy dane razem:

temp. + 7° C,
ciśnienie 745 mm,
wilgoć 50%,

dają ciężar litra powietrza równy 1,2345 kg m³.

Przy pomocy tych danych przeprowadzono rachunek na *q*, jak to w części I. § 3 opisałem.

Wyniki rachunku podaje zestawienie 18 (jako *log q)*:

Zestawienie 18.

Log q w wyniku ponownych przeliczeń.

Ładunek	Kąt		
	41°	60°	75°
	log *q*		
0	$\bar{1}$,13801	$\bar{1}$,13819	$\bar{1}$,23802
1	*)	*)	$\bar{2}$,74021
2	$\bar{2}$,96368	1,01570	$\bar{2}$,93104
3	$\bar{2}$,94078	$\bar{2}$,83184	$\bar{1}$,02582
4	$\bar{1}$,01945	$\bar{2}$,95746	$\bar{1}$,15815

*) Wypada $F\left(\frac{X}{K}\right) < 0$, czyli wynik niemożliwy.

Obliczenia te wykazały:

a) duże wahania wartości *q*, zrozumiałe wobec wysokiej zależności danych donośności od wiatru;

b) brak regularności w wahaniach, świadczący o tem, że nie można ustalić żadnej reguły tej zmienności;

c) dane ładunku 1-go fałszywe, bo dla dwu kątów donośność w powietrzu wypadła większa, niż donośność w próżni.

Jest to zresztą łatwe do wyjaśnienia. Przy ładunku tym mianowicie wpływ wiatru był dość duży i poważnie zmienił donośność wstrzelaną (p. zestawienie 16).

Ponieważ mierzono jedynie wiatr przyziemny, łatwo mogło się zdarzyć, że wpływ jego u wierzchołka był zupełnie inny, niż przy ziemi, skutkiem czego poprawkę obliczono wadliwie.

Wobec tego, że i dane rozrzutu okazały się dla ładunku 1. podejrzane, i że dla kilku kątów przy innych ładunkach rozrzut okazał się nieprawidłowy, *postanowiono dane te powtórzyć*, jak to powyżej przedstawiłem.

By uniknąć jednak błędu przez uniezależnianie danych zbyt odległemi wielkościami t i v, uniezależnienie ponowne przeprowadzono danemi czasów przelotu ,otrzymanemi z poprzednich obliczeń.

Ponadto poprawiono v, przyjmując przy przeliczaniu z $v_{5.5}$ na v_0 wielkość q średnią z obliczeń zestawienia 18, a mianowicie okrągło 0,10. Tak obliczone v podaje zestawienie 15 w rubryce „Szybkość przeliczona ponownie na v_0".

Temi danemi weszło się do ponownego rachunku uniezależnienia danych, przyczem, wobec oczywistej wadliwości danych dla ładunku 1. (wynikłej niewątpliwie z zbyt dużego wpływu wiatru w stosunku do ogólnej donośności), należało dla tego ładunku wpierw wykonać ponowne uniezależnienie pierwsze i przy jego pomocy obliczyć t, przystępując dopiero na jego podstawie do uniezależnienia wtórnego.

Wynik ponownego uniezależniania dla wszystkich ładunków podaje zestawienie 16 w rubryce „poprawiony ponownie". Okazuje on, że praca ta była zbędną, różnice są bowiem minimalne.

Dane te posłużyły za punkt wyjścia dla obliczenia q, przyczem dla ładunków 0, 2 i 4 dane, wstrzelane ponownie, wzięto do rachunku, jako równowartościowe danym wstrzelanym po raz pierwszy, podczas gdy dla ładunku 1. wzięto za podstawę rachunku jedynie dane wstrzelane ponownie.

Wynik przeliczeń podaje zestawienie 19.

Wynik ten potwierdza wnioski poprzednie, a nadto wskazuje, że prawdopodobnie w ładunku 0 wzięto v za duże, a w ładunku 1. wzięto v za małe.

Konieczne jest więc wyrównanie wstrzelanych v_0 tembardziej, że przy graficznem ich zestawianiu okazuje się, że przedstawiają one krzywą łamaną.

By je wyrównać, użyto metody stałych drugich różnic w ten sposób, by a) być jak nabliżej cyfr wstrzelanych, b) uwzględnić uwagi poprzednie.

Zestawienie 19.

Logarytmy q w wyniku powtórnego przeliczenia.

Ładunek	K ą t		
	41°	60°	75°
	log q		
0	$\bar{1},12269$ ($\bar{1},25504$)	$\bar{1},11739$	$\bar{1},19842$
1	$\bar{2},54072$	$\bar{2},50719$	$\bar{3},44618$
2	$\bar{2},97257$	$\bar{1},00170$ ($\bar{1},04659$)	$\bar{2},91588$
3	$\bar{2},93088$	$\bar{1},00126$	$\bar{1},00684$
4	$\bar{1},01085$	$\bar{2},94725$ ($\bar{2},96860$)	$\bar{1},14987$

U w a g a: Liczby w nawiasach podają wyniki ponownych strzelań.

Przyjęto więc $\Delta_n = 15,5 + 2,6\,(n - 1)$,

co daje $\Delta_1 = 15,5$

$\Delta_2 = 18,1$

$\Delta_3 = 20,7$

$\Delta_4 = 23,3$

a, biorąc v ładunku 0 jako 69 (zaokrąglenie do liczby całej wdół) mamy:

dla ładunku 0 — $v_0 = 69 \sim 69$ $\Delta =$

1 — „ $= 92,3 \sim 92$ 23,3

2 — „ $= 113,0 \sim 113$ 20,7

3 — „ $= 131,1 \sim 131$ 18,1

4 — „ $= 146,6 \sim 146,5$ 15,5

co daje drobne tylko odchylenie od cyfr zestawienia 15 (68,7; 91,1; 113,1; 130,9; 146,7).

Te też dane wzięto jako ostateczne elementy rachunku.

Przy ich pomocy obliczono ostatecznie spółczynnik kształtu, w sposób analogiczny, jak poprzednio.

Wynik tych obliczeń podaje zestawienie 20.

Potwierdzają one poprzednie wnioski, co do dużych wahań obliczonego spółczynnika kształtu i co do braku jakiejkolwiek regularności, którąby te wahania mogła uzasadnić.

Ponadto porównanie danych, uzyskanych przy tych samych kątach w dwu różnych strzelaniach, świadczy o tem, że różnice tkwią:

a) w dużej zależności donośności od zmiennego wiatru,

b) w tem, że opór powietrza wywiera względnie mały wpływ na tor pocisku i że wskutek tego mała zmiana donośności wywołuje, jako efekt obliczeń, dużą zmianę q.

Zestawienie 20.

Spółczynnik kształtu pocisku Stokes'a wz. 24.

Ładunek	v_0	Kąt	Spółczynnik kształtu
0	69	41°10′	0,0806
		42° 4′	0,1307
		61° 8′	0,0847
		75°35′	0,1089
1	92	41°26′	0,0693
		60°36′	0,0642
		75° 8′	0,0387
2	113	42°31′	0,0943
		60°11′	0,1008
		60°18′	0,1114
		75°12′	0,0827
3	131	41°28′	0,0886
		60°10′	0,1055
		75°15′	0,1044
4	146,5	41°30′	0,1025
		60°37′	0,0885
		60° 7′	0,0926
		75°26′	0,1402

Jak dalece wpływ ten się uwidacznia, świadczy przykład, podany niżej w zestawieniu 23. Jeżeli tam, zamiast otrzymanej integralną metodą rachunku donośności 236 m, weźmiemy ledwo o 0,5% mniejszą donośność 234,74 m, otrzymaną przy rachunku łukami, to przy innych elementach zupełnie identycznych, otrzymamy spółczynnik kształtu 0,108, (zamiast użytego do rachunku 0,094), a więc o przeszło 14% większy. A tak mała różnica w donośności jest przy strzelaniu praktycznem wprost niedostrzegalną; wystarczy słaby, nie dający się zmierzyć podmuch wiatru, starczy drobna, nie do uchwycenia okiem, pomyłka przy nadawaniu podniesienia, by otrzymać tę różnicę w donośności.

Widać więc, że istotnie dla pocisku wz. 24. drobne, niedostrzegalne wprost w praktyce różnice donośności powodują olbrzymie różnice w wielkości wynikłego z rachunku spółczynnika kształtu; tem też łatwo wytłumaczyć pozornie dużą, a zupełnie nieregularną zmienność q w zestawieniu 20.

Z rozważań tych wynika więc, że:

1) q jest niezależne od ładunku,

2) q można wziąć średnio z 15-tu danych,

ponieważ nawet duża omyłka w jego wartości wprowadza małą tylko omyłkę w wyniku obliczenia istotnych dla strzelania danych.

W rezultacie tego wzięto więc średnio:

$$q = 0{,}094.$$

4. Obliczenie tabeli strzelniczej.

Na podstawie tej wielkości q i podanych poprzednio v_0 wyrównanych obliczono tabelę strzelniczą, umieszczoną w Instrukcji Strzeleckiej Część IV.

Metoda obliczeń jest niezmiernie prosta.

Dla danego kąta α ocenia się φ, i przy jego pomocy oblicza się ν i $\frac{1}{k}$. Stąd, przy pomocy wzoru (11) otrzymuje się

$$\frac{W}{k} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{P\,k} \tag{35}$$

Z $\frac{W}{k}$ oblicza się $E\left(\frac{X}{k}\right)$ i $\operatorname{tg}\varphi$.

Tym nowym φ oblicza się ponownie ν, i raz jeszcze powtarza się rachunek na $\frac{W}{k}$, otrzymując

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}\alpha \; E\left(\frac{X}{k}\right) \tag{12}$$

$$X = \frac{X}{k} : \frac{1}{k} \tag{36}$$

$$t_\varphi = \frac{X}{v_0 \cos\alpha}\, T\left(\frac{X}{k}\right). \tag{37}$$

W czasie rachunku okazało się, że dla ładunku 0 ponowne oznaczenie ν jest zbędne.

Dla ładunku 1 i 2 ponowne oznaczenie ν było konieczne.

Dla ładunku 3 próbowano, czy potrzeba oznaczać ν po raz 3-ci. Wynik rachunku okazał zbędność tej pracy.

Dla ładunku 4 oznaczono więc ν jedynie dwukrotnie.

Obliczenia te wykonano dla α co 2 stopnie, a w okolicy 45^0, nawet co 1^0. Otrzymane tą drogą dane (zestawienie 21) przeniesiono na rysunek w dużej skali i stąd ustalono tabelę strzelniczą.

Tabeli tej, umieszczonej w Instrukcji Strzeleckiej Część IV, nie załączam tu.

Zestawienie 21.

Obliczone dane strzelnicze dla pocisku Stokes'a wz. 24 dla $q = 0{,}094$.

α =	41	43	44	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
									Ładunek 0.										
φ =	41°56'30	43°58'10	44°58'40	45°59'10	47°59'60	50°00'00	51°59'40	53°59'00	55°57'50	57°56'10	59°54'10	61°51'50	63°49'10	65°43'20	67°43'10	69°39'40	71°36'10	73°32'30	75°29'50
X =	466	470	470	470	468	465	459	451	440	428	414	398	379	359	337	314	289	263	236
t =	9,3	9,6	9,8	10,0	10,3	10,7	11,0	11,3	11,6	11,9	12,2	12,4	12,6	12,8	13,0	13,2	13,3	13,5	13,6
									Ładunek 1.										
φ =	42¾	44¾	45¾	46¾	48¾	50¾	52¾	54¾	56¾	58½	60½	62½	64½	66¼	68¼	70¼	72	74	75¾
X =	806	812	812	813	810	803	793	779	761	740	716	687	656	620	584	543	500	455	407
t =	12,1	12,6	12,8	13,1	13,5	13,9	14,4	14,7	15,1	15,5	15,8	16,2	16,5	16,7	17,0	17,2	17,5	17,7	17,9
									Ładunek 2.										
φ =	43½	45¾	46¾	47¾	49¾	51¾	53¾	55¾	57½	59½	61½	63¼	65¼	67	69	70¾	72½	74½	76¼
X =	1183	1189	1190	1189	1186	1176	1160	1139	1114	1082	1046	1005	959	908	854	795	732	666	596
t =	14,6	15,4	15,6	15,9	16,5	17,0	17,5	17,9	18,4	18,9	19,3	19,7	20,0	20,4	20,7	21,0	21,3	21,5	21,7
									Ładunek 3.										
φ =	44	46¼	47¼	48¼	50¼	52¼	54¼	56¼	58¼	60	62	63¾	65¾	67½	69¼	71¼	73	74¾	76½
X =	1548	1556	1555	1554	1548	1534	1514	1486	1452	1411	1364	1311	1251	1185	1114	1037	955	869	778
t =	17,0	17,7	18,0	18,3	18,9	19,5	20,1	20,7	21,2	21,7	22,2	22,6	23,0	23,5	23,8	24,2	24,5	24,8	25,0
									Ładunek 4.										
φ =	44¾	47	48	49	51	53	55	57	58¾	60¾	62½	64½	66¼	68	69¾	71¾	73½	75¼	77
X =	1883	1891	1891	1890	1882	1865	1840	1807	1764	1714	1657	1591	1519	1140	1353	1260	1160	1057	945
t =	18,9	19,6	20,0	20,3	21,0	21,7	22,3	22,9	23,5	24,1	24,6	25,1	25,6	26,0	26,4	26,8	27,1	27,5	27,7

Osiągnięty przy rachunku stopień dokładności podaje zestawienie 22.

Zestawienie 22.

Porównanie danych obliczonych i wstrzelanych dla pocisku Stokes'a wz. 24.

Ładunek	Kąt	Donośność wstrzelana bez uwzględn. wiatru (w m)	Donośność wstrzelana z uwzględn. wiatru (w m)	Donośność obliczona		Czas przelotu wstrzelany (w sek.)	Czas przelotu obliczony (w sek.)
0	$41^{1}/_{4}{}^{0}$	470	467	466	— 0,2%	9,3	9,3
	42^{0}	479	461	468	+ 1,5%	—	—
	$61^{1}/_{4}{}^{0}$	417	397	395	— 0,5%	12,2	12,4
	$75^{1}/_{4}{}^{0}$	235	225	229	+ 1,7%	13,9	13 6
1	$41^{1}/_{2}{}^{0}$	832	819	807	— 1.5%	12,3	12,3
	$60^{1}/_{2}{}^{0}$	724	706	694	— 1,7%	16,3	16,0
	$75^{1}/_{4}{}^{0}$	429	392	400	+ 2,0%	18,4	17,9
2	$42^{1}/_{2}{}^{0}$	1184	1184	1187	+ 0.3%	15,2	15,2
	$60^{1}/_{4}{}^{0}$	1020	1012	1020	+ 0,8%	19,8	19,6
	$60^{1}/_{4}{}^{0}$	1018	1004	1020	+ 1,6%	—	—
	$75^{1}/_{4}{}^{0}$	602	593	587	— 1,0%	22,0	21,7
3	$41^{1}/_{2}{}^{0}$	1582	1553	1550	— 0,2%	17,4	17,2
	$60^{1}/_{4}{}^{0}$	1328	1314	1333	+ 1.4%	22,8	22,7
	$75^{1}/_{4}{}^{0}$	769	754	765	+ 1,2%	25,5	25,0
4	$41^{1}/_{2}{}^{0}$	1893	1856	1885	+ 1,5%	19,4	19,1
	$60^{1}/_{4}{}^{0}$	1636	1627	1615	— 0,8%	—	—
	$60^{1}/_{2}{}^{0}$	1657	1611	1607	— 0,2%	25,3	25,0
	$75^{1}/_{2}{}^{0}$	886	854	913	+6,5% (2,9%)	27,9	27,8

Wykazuje ono bardzo dużą zgodność danych wstrzelanych z danemi obliczonemi, co z jednej strony świadczy o dobrem wypośrodkowaniu spółczynnika kształtu, z drugiej zaś o dużej dokładności broni samej.

IV. KOŃCOWE OMÓWIENIE WYNIKÓW.

1) Porównanie pocisku wz. 24 z pociskiem wz. 18.

Przy porównaniu obydwu pocisków uderzają przedewszystkiem dwie cechy:

a) Niezależność spółczynnika kształtu od szybkości początkowej pocisku wz. 24, w porównaniu do zależności tego spółczynnika od szybkości przy pocisku wz. 18.

b) Wielkość spółczynnika dużo mniejsza w pocisku wz. 24, od pocisku wz. 18.

Pierwsze zjawisko znajduje, na tle szczegółowo omówionej poprzednio teorji stabilizacji pocisku brzechwowego, łatwe wyjaśnienie w większej stabilizacji pocisku wz. 24. od pocisku wz. 18.

Pochodzi więc ona niewątpliwie z tego, że punkt zaczepienia oporu powietrza jest w pocisku wz. 24. o wiele dalej odsunięty wtył od środka ciężkości, niż w pocisku wz. 18. Drobne więc wahania początkowe pocisku, które niewątpliwie istnieją i które zresztą można zauważyć gołem okiem, amortyzują się skutkiem dużego momentu oporu powietrza tak szybko, że opóźniający ich wpływ na lot pocisku jest bardzo nieznaczny i nie do zauważenia w punkcie upadku.

Pocisk wz. 24 jest więc w pełnem tego słowa znaczeniu prawidłowo lecącym pociskiem.

Tu nasuwa się jeszcze jedna uwaga dodatkowa. Rozpatrując lot pocisku, jesteśmy w balistyce przeważnie przyzwyczajeni uważać, że wynika on z dwu tylko elementów: wektora szybkości początkowej i spółczynnika balistycznego. Z chwilą, gdy te elementy są znane, uważamy, że opanowaliśmy należycie cały lot pocisku. Jednem słowem identyfikujemy pocisk z punktem materjalnym.

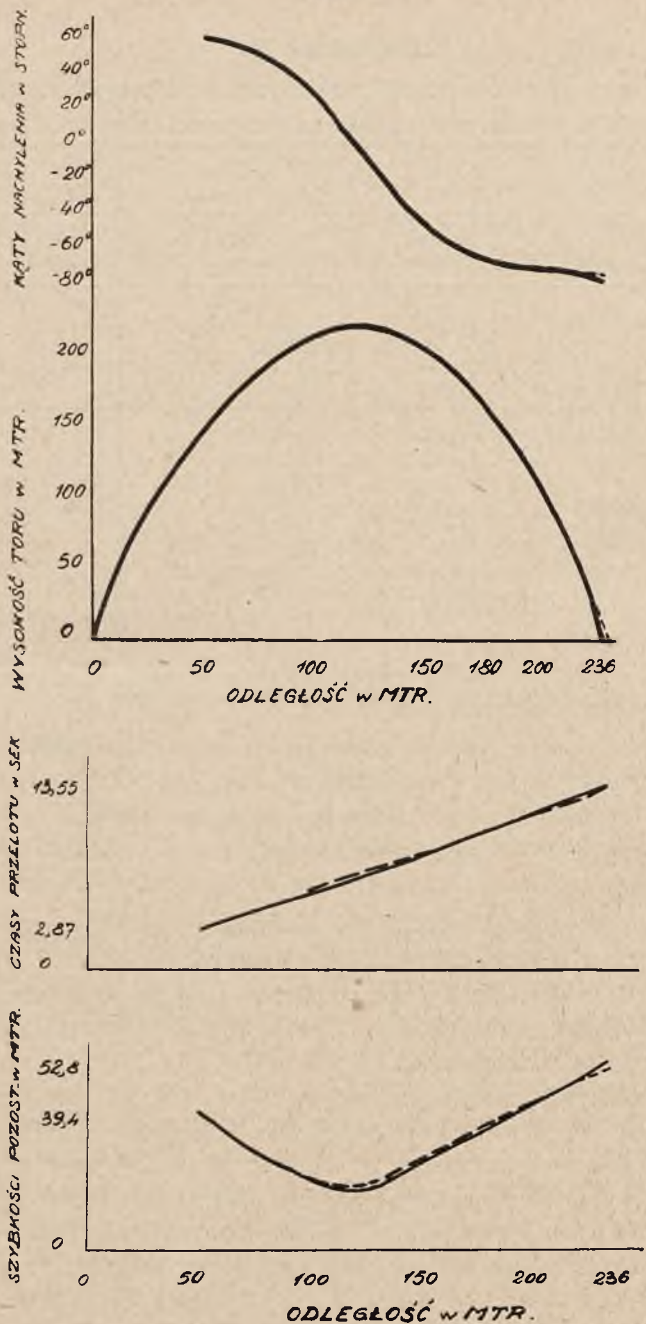
To uproszczenie, konieczne dla rachunku, i usprawiedliwione przy *zupełnie prawidłowo* biegnącym pocisku, nie może jednak doprowadzić do zupełnego zapomnienia o tem, że pocisk jest nie punktem, ale bryłą i że, oprócz ruchu środka ciężkości, mamy do czynienia jeszcze z ruchem pocisku dookoła swego środka ciężkości.

Na ruch ten, oprócz właściwej pociskowi zdolności stabilizacyjnej, wpływają jeszcze i początkowe warunki strzału. Ilekroć więc zachowanie się pocisku jest takie, że nie wystarczają dwa jedynie elementy (wektor szybkości i stały spółczynnik balistyczny) do wyjaśnienia tego lotu, tylekroć należy zwrócić się ku ruchowi pocisku dookoła jego środka ciężkości, a więc do jego warunków wylotowych i do jego zdolności stabilizacyjnej, i tu szukać rozwiązania stwierdzonej nieprawidłowości.

Po tej dygresji wracam do tematu właściwego.

Prawidłowość lotu pocisku wz. 24 pociąga za sobą możność stosowania do niego bez zastrzeżeń klasycznych metod rachunkowych.

Świadczy o tem wymownie zestawienie 23, przedstawiające tor pocisku wz. 24 pod najniekorzystniejszym kątem (75°), obliczony raz łukami, drugi zaś raz integralnie, oraz rysunek 10, przedstawiający ten sam tor graficznie.



Rys. 10.

Rys. 10a podaje wysokości torów i kąty nachyleń.
Rys. 10b „ szybkości pozostałe i czasy przelotu.
Tor rachowany integralnie jest narysowany linją grubą.
„ „ łukami jest narysowany linją kreskowaną.

Zestawienie 23.

Tor pocisku Stokes'a wz. 24 przy ładunku „O“, kącie rzutu 75°, liczony metodą integralną i kolejnemi łukami.

Odległość	Wysokość toru		Kąt nachylenia		Szybkość pozostała		Czas przelotu	
	metodą integr.	łukami	metodą integr.	łukami	metodą integr.	łukami	metodą integr.	łukami
50 m	148,2 m	—	+ 63°23′	—	39,4 m/s.	—	2,82 sek.	—
100 m	218,0 m	217,0 m	+ 30°52′	+ 30°15′	20,6 „	20,2 m/s.	5,66 „	5,67 sek.
118 m	—	222,3 m	—	+ 0°3′ [7]	—	17,4 „	—	6,70 „
119 m	224,0 m	—	0°	—	17,6 „	—	6,75 „	—
120 m	223,9 m	—	— 2° 8′	—	17,6 „	—	6,81 „	—
130 m	221,8 m	—	— 13°44′	—	18,4 „	—	7,39 „	—
150 m	208,0 m	—	— 45°18′	—	24,6 „	—	8,53 „	—
179 m	—	161,9 m	—	— 63°18′	—	38,6 „	—	10,23 „
180 m	163,0 m	—	— 63°28′	—	38,4 „	—	10,28 „	—
200 m	116,2 m	—	— 69°23′	—	47,8 „	—	11,44 „	—
234 m	—	2,8 m	—	— 75°18′	—	52,3 „	—	13,42 „
234,74 m		0	—	— 75 23′	—	52,7 „	—	13,48 „
236 m	0	—	— 75°29′	—	52,8 „	—	13,55 „	—

Jak widać, dane obliczone obydwiema metodami, są zupełnie prawie identyczne, a mianowicie:

	łukami	integralnie
Donośność	234,74 m	236 m
Kąt upadku	75° 23′	75° 29′
Szybkość pozostała	52,7 m/sek.	52,8 m/sek.
Czas przelotu	13,48 sek.	13,55 sek.

Różnice są więc minimalne, pozbawione wszelkiego znaczenia praktycznego, a więc uprawniające w zupełności rachowanie całością toru, zamiast kolejnemi łukami, co równocześnie, w porównaniu z poprzedniemi zestawieniami 10 i 11, wykazują dużą wyższość pocisku wz. 24 nad pociskiem wz. 18.

Spółczynnik kształtu pocisku wz. 24 jest 3 do 14 razy lepszy od pocisku wz. 18. Wynika to niewątpliwie z jego lepszej stabilizacji.

Jeżeli nawet weźmiemy tę wielkość, do której asymptotycznie zbliża się zmienny wraz z szybkością spółczynnik kształtu pocisku wz. 18, a którą przyjąłem poprzednio hipotetycznie, jako wielkość czynnika kształtu osiowo biegnącego pocisku wz. 18 (0,200), to i w tym wypadku pocisk wz. 24 będzie miał spółczynnik kształtu dwa razy lepszy od pocisku wz. 18.

---

[7]) Wierzchołek toru, liczonego łukami, znajduje się na odległości 118,04 m.

To ostatnie twierdzenie podaję z całem zastrzeżeniem, co do jego hipotetyczności. Jedynie bowiem pomiary bezpośrednie, możliwie tylko na drodze aerodynamicznej, mogłyby wniosek ten potwierdzić.

W każdym jednak razie należy stwierdzić, że pocisk wz. 24 jest z punktu widzenia balistycznego o wiele korzystniejszy od pocisku wz. 18. Uwidacznia to zresztą, prócz poprzednich motywów, zarówno zestawienie 24, jak i fakt znacznie większej celności tego pocisku, niż pocisku wz. 18.

Zestawienie 24.

Porównanie danych strzelniczych pocisku Stokes'a wz. 18 i wz. 24.

Ładunek	v_0		Granice donośności	
	wz. 18	wz. 24	wz. 18	wz. 24
0	105	69	280 — 540 m	240 — 470 m
1	138	92	460 — 490 m	400 — 810 m
2	159	113	820 — 1340 m	580 — 1190 m
3	182	131	1040 — 1660 m	780 — 1550 m
4	198	146,5	1240 — 1920 m	920 — 1900 m

2) Ogólne własności pocisków brzechwowych.

Pociski brzechwowe wprowadzono w czasie wojny światowej, jako namiastkę pocisków gwintowanych; miały one na celu zezwolić na stosowanie możliwie prostych narzędzi do rzucania dużych ilości materjału wybuchowego od okopu do okopu.

Uważano je jako środek prymitywny, od którego nie wymaga się ani celności, ani nawet zbytniej prawidłowości lotu, jako coś, co może od biedy zastąpić pocisk gwintowany, ale mu nigdy nie dorówna.

Tymczasem balistycznie pocisk brzechwowy jest dużo prostszy od gwintowanego. O ile bowiem stabilizacja pocisku gwintowanego polega na niezmiernie skomplikowanym ruchu obrotowym dookoła osi, trudnym do opanowania rachunkowego i do zbadania doświadczalnego, o tyle stabilizacja pocisku brzechwowego jest niezmiernie prosta i łatwa do liczenia.

Ponadto, jeżeli chodzi o tory strome i szybkości bardzo różne, o dużej skali rozpiętości, pocisk brzechwowy ma i tę jeszcze przewagę nad gwintowanym, że stabilizacja jego przy różnych ładunkach jest o wiele łatwiejsza.

Jak bowiem wynika z teorji jego stabilizacji, przedstawionej poprzednio, jeżeli przy pewnej szybkości v_1 pocisk jest dobrze ustabilizowany, to przy szybkości $v_2 > v_1$ stabilizacja ta będzie zawsze

lepszą. Potwierdza to zresztą doświadczenie, które okazuje, że dla każdego typu pocisku brzechwowego istnieje pewna szybkość v_M (minimalna), poniżej której pocisk koziołkuje w powietrzu, a po przekroczeniu której pocisk już stabilizuje się, tem lepiej, im szybkość większa.

Natomiast przy pociskach gwintowanych i torze stromym sprawa ta jest o wiele trudniejszą. Między wierzchołkiem bowiem a punktem najmniejszej szybkości następuje ta chwila krytyczna, w której zbyt szybki obrót może spowodować odwrócenie się pocisku dnem do przodu i charakterystyczne dla niego zjawisko podwójnego rozrzutu: pocisków biegnących prawidłowo, i pocisków odwróconych. Im bardziej stromy tor, tem zjawisko to łatwiej następuje.

Z drugiej strony, zwłaszcza przy broniach stromotorowych piechoty, a więc broniach prymitywnych, obrót nie mógłby być zbyt wolny, w przeciwnym bowiem razie zbyt mała stabilizacja na początku toru utrudniłaby, a nawet uniemożliwiłaby, prawidłowość lotu pocisku.

Trudność pogodzenia tych dwu wymagań staje się prawie nie do pokonania tam, gdzie mamy do czynienia z wielką rozpiętością skali szybkości początkowych, ponieważ wzrost szybkości przy stałym kącie rzutu niezawsze z jednej strony lepiej stabilizuje pocisk na początku, wobec wzrastającej razem z szybkością i siły uderzenia gazów wylotowych, z drugiej zaś, powiększając szybkość u wierzchołka i szybkość najmniejszą w stopniu o wiele słabszym, niż wzrost szybkości początkowej, a więc i obrotowej pocisku, stwarza warunki bardziej sprzyjające wywracaniu się pocisku dnem w tem miejscu toru.

Z tego też względu, zwłaszcza w stromotorowych broniach piechoty, które strzelają bardzo małą szybkością początkową, problem należytego doboru skrętu tak dla szybkości małych, jak i dla dużych, jest bardzo trudny i zawsze wymagać będzie szkodliwego dla celności kompromisu.

Na tle tych rozważań uwidacznia się więc wyraźnie wyższość pocisków brzechwowych nad gwintowanemi dla broni stromotorowej, strzelającej szybkością mniejszą od głosu, o dużej zmienności tej szybkości.

Wzgląd ten niewątpliwie świadomie lub nieświadomie skłonił wielu konstruktorów do posługiwania się temi pociskami.

Mimo to jednak uważano je zawsze za coś mniej wartościowego od pocisków gwintowanych, sądząc, że celność ich musi być o wiele gorszą.

Tymczasem przykład pocisku wz. 24 świadczy niewątpliwie o tem, że pocisk brzechwowy może być zupełnie równowartościowy pociskowi gwintowanemu z punktu widzenia balistycznego, może bowiem mieć równie prawidłowy lot i równie dobrą celność.

Pociski brzechwowe mają więc przed sobą dużą przyszłość, przynajmniej w zastosowaniu do broni stromotorowej, strzelającej szybkościami mniejszemi od jakichś 240 m/sek. Zastosowanie ich bowiem do szybkości większych natrafia na wielkie trudności skutkiem tego, że duże ciśnienia, panujące w lufie, działają ujemnie na brzechwę pocisku, zniekształcając ją, a tem samem i zmniejszając w sposób niekorzystny stabilizację pocisku, a więc i jego celność.

Ponadto przestrzeń, jaką zajmuje brzechwą, stwarza z konieczności rzeczy dużą objętość komory rozprężania się gazów, a tem samem utrudnia nadanie wielkich szybkości.

Z tych też względów zbadanie zachowania się pocisku brzechwowego przy szybkościach większych, jest niezmiernie trudne i faktycznie nie wiemy, jak się będą one zachowywać w powietrzu przy szybkości większej od głosu.

Wreszcie i produkcyjnie pociski brzechwowe stwarzają duże trudności przez konieczność ściśle osiowego umieszczenia brzechwy. Każde bowiem jej przekręcenie w stosunku do osi zmienia lot pocisku, a tem samem i zmniejsza jego celność.

Wszystkie te trudności są jednak niewątpliwie do pokonania i mimo nie, dzięki swej prostocie i swym zaletom, pociski brzechwowe znajdą niewątpliwie zastosowanie i w innych dziedzinach uzbrojenia.

Gdyby tak było, to uwzględniając, iż pociski brzechwowe nie są w istocie rzeczy niczem innem, niż udoskonaleniem strzał, stosowanych w zamierzchłych jeszcze czasach, możnaby raz jeszcze zaobserwować ciekawy, a zresztą w dziejach kultury, dość częsty objaw, że po formach prostych przychodzą formy skomplikowane, by w rozwoju swym doprowadzić znowu do pierwotnych form prostych, bardziej jedynie udoskonalonych.

669.14:623.421

Ppłk. inż. JAKOWSKI KAZIMIERZ.

STAL NA LUFY DZIAŁOWE W ŚWIETLE FACHOWEJ LITERATURY FRANCUSKIEJ.

Wstęp.

Zagadnienie, dotyczące rodzaju metalu, który winien być używany dla wyrobu luf działowych, nie podlega obecnie dyskusji. Niema obecnie dwóch zdań co do tego, iż stal taka, jaką produkują obecnie nowoczesne stalownie, stanowi najlepsze rozwiązanie odnośnego zagadnienia. Jednakowoż nie zawsze tak było; zdania, co do najbardziej odpowiedniego metalu były przez długi czas podzielone, co tłumaczyło się z jednej strony ówczesnym niedość zadawalniającym stanem siderologji, z drugiej zaś ówczesnemi wymaganiami, dotyczącemi mocy wyrabianego sprzętu.

Wyrób stali (t. j. żelaza kowalnego, otrzymywanego w stanie płynnym), stał się możliwym na większą skalę dopiero w drugiej połowie XIX w., kiedy Bessemer (1855) wynalazł konwertor do świeżenia surowca w stanie płynnym, zaś skonstruowanie przez Siemensa (1856) jego pieca z regeneracją umożliwiło powstanie sposobu Martinowskiego (1865); do tego czasu jedynie stal tyglowa mogłaby wchodzić w grę; jednakowoż ówczesne wady tych procesów (brak dostatecznej pewności co do operacji w konwertorze, nieumiejętność należytego prowadzenia pieców martinowskich) oraz wyniki zastosowania do budowy dział żelaza pudlarskiego (Anglja 1859), które było materjałem bardzo niejednolitym i zawierało spore ilości żużla, — wszystko to sprawiało, że użycie żelaza kowalnego dla wyrobu luf armatnich wywoływało u ówczesnych artylerzystów dużo nieufności; to też jako

materjał na lufy powszechnie używano aż do r. 1861 bronzu (zwłaszcza dla dział mniejszych kalibrów) oraz surowca. Pierwszy Krupp w r. 1861 zaczął budować lufy ze stali tyglowej, jednakże wypadki rozerwania pewnej liczby tych dział (zarówno jak i angielskich dział Whitwortha), bynajmniej nie zachęcały do rozpowszechniania tego materjału; ale przyczyną tych wypadków było przedewszystkiem to, że nie umiano wówczas jeszcze wyrabiać dostatecznie zdrowej stali w większych ilościach oraz należycie obchodzić się z nią (wadliwe hartowanie lub odkucie i t. d.). Jednakowoż szybkie postępy metalurgji, aż do zjawienia się elektrometalurgji (początek 1898 r.), sprawiły, że nieufność do stali, jako do materjału na lufy znikała coraz bardziej i już przed wojną prawie wszyscy zgodni byli, co do tego, że stal należycie wytworzona i odlana w blokach „zdrowych" stanowi w obecnym stanie techniki najlepsze rozwiązanie zagadnienia metalu na lufy działowe; tembardziej, iż żądania współczesnej balistyki stawiały z punktu widzenia szybkości początkowej, a co zatem idzie i ciśnień w przewodzie, zadania, którym uczynić zadość w praktyce mogła jedynie stal.

Nie od rzeczy wszakże będzie podkreślić tutaj te żądania, które technika broni stawiała w mniejszym lub większym stopniu przez cały okres swego rozwoju metalowi, którego wymaga wyrób luf. Metal ten musi odpowiadać wymaganiom następującym:

1) metal winien być dość twardy ,aby nie być łatwo uszkadzanym przez uderzenia — zwłaszcza te, które mogą być wywołane przez pocisk bądź w chwili ładowania, bądź w czasie ruchu pocisku w przewodzie;

2) metal winien posiadać dostatecznie wysoką granicę sprężystości, aby nie otrzymywać odkształceń trwałych pod działaniem ciśnienia gazów prochowych;

3) granica sprężystości metalu winna być możliwie oddalona od jego granicy wytrzymałości na rozerwanie;

4) metal powinien posiadać możliwie dużą odporność przeciw działaniu czynników chemicznych (a więc czynników atmosferycznych, oraz produktów rozkładu prochu) oraz przeciw przepalaniu;

5) wyrób oraz obróbka tego metalu winny móc odbywać się w należytych warunkach, zarówno z punktu widzenia łatwości pracy, jak też i oszczędności;

6) materjał ten winien znajdować się pod ręką wzgl. być wyrabianym z surowców znajdujących się na miejscu; było to zwłaszcza ważne w czasach dawniejszych, ze względu na brak środków komuni-

kacyjnych, trudności handlu wymiennego i t. d., jednakowoż wzgląd ten pozostał zupełnie aktualnym i w czasach najnowszych wobec ogromnego liczebnego powiększenia artylerji i konieczności jak najszerszego dostosowania się do hasła samowystarczalności.

Powyższe warunki wskazane w p. 1, 2, 5 i 6 są dostatecznie zrozumiałe same przez się; wymagają jednak pewnego sprecyzowania i wyjaśnienia warunki wskazane w p. 3 i 4.

Gdy budujemy lufę działową trzeba zawsze mieć na względzie konieczność uniknięcia nieszczęśliwego wypadku, który może mieć miejsce w razie rozerwania lufy; ładunek prochowy jest zazwyczaj określony w ten sposób, iż w warunkach zwykłych strzelania granica sprężystości metalu nie bywa przekroczona, jak to wynika z wyżej wymienionego warunku p. 2); jeżeli na skutek okoliczności przypadkowych ciśnienie rozwinięte przez gazy prochowe przekroczy znacznie przewidziane w obliczeniach maximum, to jest dopuszczalnem, iż lufa otrzyma odkształcenia trwałe, które wszakże dla uniknięcia nieszczęśliwego wypadku nie mogą osiągnąć wartości, odpowiadających rozerwaniu metalu. Jasnem jest, iż jeżeli granica sprężystości E jest dostatecznie oddalona od granicy wytrzymałości na rozerwanie R, to łatwo będzie nie dopuścić do rozerwania metalu, tak, iż w takim razie warunek p. 3) będzie niejako wystarczającym. Jest wszakże rzeczą mniej oczywistą, że warunek ten jest koniecznym, — i można zadać sobie pytanie, czy metal, który posiada granicę sprężystości E bardzo wysoką, lecz zbliżoną do granicy wytrzymałości R, nie będzie również dobrym metalem na lufy pod warunkiem, aby brać dostateczny spółczynnik bezpieczeństwa, t. j. obciążać metal tylko do pewnego, w odpowiedni sposób określonego ułamka E. Należy wszakże, jak to zaznacza ing. gen. franc. artyl. morskiej Jacob w swem dziele „Résistance et construction des bouches à feu" tom I, str. 44, wyd. 1920 r. — zauważyć, że zawsze zachodzi obawa, iż pod wpływem rozważań dotyczących ciężaru lufy, konstruktor będzie miał tendencję do czynienia ofiary ze spółczynnika bezpieczeństwa na rzecz zmniejszenia ciężaru; jest to rodzaj ustępstwa, którego konstruktor nie będzie sobie czynił z początku, będzie on jednak coraz bardziej skłonny do czynienia takich ustępstw, gdy niespotykanie w swej praktyce wszelkich nieszczęśliwych wypadków wytworzy w konstruktorze ten szczególny rodzaj umysłowości, który skłonny jest do nieliczenia się z żadnem niebezpieczeństwem, a który w zastosowaniu do praktyki użycia materjałów wybuchowych był już niejednokrotnie przyczyną wielu katastrof; skądinąd w obecnym stanie metalurgji metal, którego granica

sprężystości E jest zbliżona do jego granicy wytrzymałości R, ma bardzo nieznaczne wydłużenie przed R i nie może być dostatecznie odpornym na uderzenia. Jeżeli zaś idzie o lufy samowzmocnione [1]), to spora różnica między R i E jest warunkiem niezbędnym dla możności otrzymania wydajnego samoczynnego bandażowania, — dlatego też warunek p. 3) winien być uważany za konieczny.

Co się tyczy warunku wskazanego w p. 4-ym, to nie można opierać się jedynie na odporności metalu przeciw wpływom utleniającym; pamiętać należy, iż sprawa zużycia przewodu lufy jest jedną z najbardziej skomplikowanych i trudnych kwestyj techniki artyleryjskiej i nie została dotąd dostatecznie wyjaśnioną, jakkolwiek sprawą tą zajmowały się największe powagi naukowe w odnośnych dziedzinach. Już sam charakter zużycia przewodu, (które występuje nietylko w części przewodu, znajdującej się bezpośrednio przed komorą nabojową, lecz również, jakkolwiek słabiej, w części wylotowej, przyczem zużycie pól gwintów jest większe, niż zużycie dna brózd, oraz w znacznym stopniu zużywa się bok oporowy brózdy), — ujawnia fakty, całokształtu których dotychczasowe teorje nie były w stanie wyjaśnić. Zjawisko komplikuje się z powodu t. zw. przepalania (erozji) w przewodzie, która ujawnia się początkowo jako bardzo drobna siateczka szczelinek, które to szczelinki pogłębiają się w miarę ilości oddanych strzałów, nie przekraczają jednak głębokości kilku dziesiątych milimetra. Przerywanie się gazów między temi szczelinkami uwypukla coraz bardziej wspomniane zjawisko, które jakkolwiek nie przedstawia bezpośredniego niebezpieczeństwa dla wytrzymałości lufy działowej, prowadzi stopniowo do pogorszenia cech balistycznych lufy, powodując wreszcie deklasację takowej. Tak rozumiane zjawisko przepalania, które stoi w bezpośrednim związku z kinetycznem działaniem gazów prochowych pod wielkiem ciśnieniem, i które z tego tytułu, zdaniem mojem, nie znajduje odpowiednika w innych działach techniki, — zależne jest od bardzo wielu czynników, jak temperatura

---

[1]) Istota sposobu samowzmacniania (autofrettage) rur (polegający na przekroczeniu granicy sprężystości metalu w poszczególnych warstwach metalu rury, zapomocą wysokiego ciśnienia hydraulicznego, rozwiniętego w przewodzie, w wyniku czego w ściance rury powstają jakby nieskończenie cienkie pierścienie ciągłe, obciskające warstwy położone bliżej ku osi rury), oraz sprawa koszulek wymiennych są, jak przypuszczam, dostatecznie dobrze znane czytelnikom „Przeglądu Artyleryjskiego" (p. Przegląd Artyl. rocznik 1927, str. 38, 77, 118, 167, 247, 304, rok 1928 — sierpień, str. 175, oraz Bibljoteka Przeglądu Artyl. Nr. 5 „Wytrzymałość lut działowych" ppłk. inż. Jakowskiego, str. 146 i 227 i Nr. 7 „Najnowsze zdobycze techniki artyleryjskiej oraz sprzęt artyleryjski zagranicą" ppłk. Vorbrodta, str. 6 i 9).

spalania prochu, stopień nitracji prochu, czas przebiegu pocisku w lufie, kaliber lufy, a nadewszystko tempo ognia i sposób konserwacji lufy; jest ono jednak bez wątpienia zależne również od właściwości metalu lufy. Już tylko ilość istniejących a sprzecznych ze sobą teoryj, usiłujących dać wyjaśnienie wspomnianego zjawiska, wskazuje na to, iż nie mamy jeszcze bezsprzecznego naukowego wyjaśnienia całokształtu dotyczącej sprawy; w tym względzie przytoczę tylko streszczenie następujących odnośnych teoryj:

a) przepalanie wywołane jest przez silnie rozgrzane gazy prochowe, które z wielką szybkością przerywają się przez najmniejsze otworki, powstające między pierścieniem wiodącym a powierzchnią przewodu, przyczem wspomniane działanie gazów jest tem silniejsze, im ciśnienie jest większe, a szybkość pocisku mniejsza [2]) — teorja ta dobrze wyjaśnia powstawanie przepalania na początku części gwintowanej, gorzej — w części wylotowej, nie wyjaśnia natomiast faktu, iż pola zużywają się więcej ,niż brózdy, oraz przepalania boku oporowego brózdy;

b) przepalanie spowodowane jest przez zmiany chemiczne i strukturalne, zachodzące w metalu przewodu z powodu zetknięcia z gorącemi gazami prochowemi o wysokiej prężności, przyczem na skutek cementacji powstaje twardy i kruchy naskórek [3]); teorja ta wyjaśnia przepalanie w bliskości komory nabojowej, nie wyjaśnia jednak tegoż zjawiska w części wylotowej;

c) przepalanie spowodowane jest przez tarcie, wywierane na powierzchnię przewodu przez gazy o wysokiej temperaturze i wielkiej szybkości [4]) — teorja ta ma te same braki, co a);

d) przepalanie spowodowane jest nie przez unoszenie cząsteczek metalu przez tarcie gazów, ale przez rozmiękczenie i początek topienia warstwy wewnętrznej przewodu, z powodu dużej ilości ciepła w gazach zawartej; teorja ta wyjaśnia między innemi, dlaczego stale specjalne ulepszone termicznie nie są odporne na przepalanie, nie wyjaśnia natomiast przepalania boku oporowego brózdy oraz przepalania w części wylotowej;

e) przewód zużywa się jedynie na skutek tarcia poruszającego się pocisku; na korzyść tej teorji przemawia fakt, że smarowanie pocisków zmniejsza przepalanie, tłumaczy ona większe zużywanie się pól oraz boków oporowych brózd, nie wyjaśnia jednak, dlaczego prze-

---

[2]) Teorja Vieille'a: „Memorial des poudres et salpetres" tom XI (1901—1902).
[3]) Teorja chemiczna; porównaj Vieille l. c
[4]) Teorja Charbonnier: „Memorial de l'artillerie navale", tom XXXIV—1906.

palanie powstaje przedewszystkiem na początku i w końcu części gwintowanej;

f) rosyjska teorja prof. Czernowa [5]), według której wewnętrzna błonka przewodu poddana jest przy strzale nadzwyczaj szybkiemu rozgrzaniu, które nie może być natychmiast przekazane warstwom sąsiadującym, wobec czego powstają w niej naprężenia promieniowe oraz fałdy, które następnie przechodzą w drobne szczelinki, przez które przerywają się gazy; teorja ta wyjaśnia silniejsze przepalanie pól niż brózd, pozostawia jednak niewytłumaczonemi zjawiska przepalania u wylotu oraz silniejszego zużycia boku oporowego brózdy;

g) czynnikiem cementacji jest azot, który działając na stal przewodu, daje azotek żelaza (Fe_2N), stanowiący ciało bardzo twarde i kruche, co daje możność gazom porywać ze sobą błonkę powierzchniościową (Knight i Northrup); inni wszakże autorzy (Swiesznikow, Kontorowicz [5a]) uważają, iż niema dostatecznych powodów, aby dopuścić możność tworzenia się w lufie azotku ,zawierającego 11,11%N; jednak rola azotu może polegać na tem, iż — nie łącząc się z metalem — działa on katalitycznie, ułatwiając i przyśpieszając cementację powierzchni przewodu, wpływając w ten sposób na zwiększenie grubości warstwy nacementowanej, co zmniejsza plastyczność metalu i ułatwia jego przepalanie; zmiany objętościowe metalu lufy, spowodowane przez raptowne wahania temperatury przy strzelaniu, oraz wysokie ciśnienie gazów prochowych, przyczyniają się do pękania zahartowanego mało plastycznego naskórka przewodu.

Jeżeli więc musimy uznać, że nie znamy jeszcze rzeczywistej przyczyny przepalania, względnie że jest bardzo dużo różnorodnych przyczyn działających jednocześnie, — to trudno jest mówić o teoretycznem określeniu rodzaju metalu najbardziej odpornego przeciw przepalaniu; miarodajnem w tym względzie może być tylko dłuższe doświadczenie; zaznaczyć wszakże przytem należy, że próby dokonane w ostatnich latach w Ameryce w arsenale Springfield w celu określenia przydatności stali nierdzewiejącej do wyrobu luf karabinów maszynowych, nie wykazały, aby stal nierdzewiejąca była wytrzymalsza na zużycie przez strzelanie aniżeli zwykła stal węglista [6]).

Własności stali, między innemi i te, które są specjalnie ważne z punktu widzenia wymagań stawianych metalowi na lufy działowe,—

---

[5]) por. Revue de metallurgie, październik 1915.

a) Wojna i tiechnika, Nr. 5, r. 1929.

[6]) Podobno ostatnie doświadczenia z metalem „Armco" (bardzo czyste żelazo) wykazały odporność tego metalu przeciw przepalaniu; bliższych danych w tej sprawie nie posiadam.

zależne są od wielu czynników, które możemy zgrupować w pięciu następnych kategorjach:

I. sposób wytwarzania stali,
II. skład chemiczny,
III. odlanie bloka stalowego,
IV. odkucie,
V. obróbka cieplna (termiczna).

Stosownie do wyżej wskazanych grup praca niniejsza podzielona będzie na pięć rozdziałów, w każdym z których rozpatrzymy, w jaki sposób francuska literatura fachowa i francuskie warunki techniczne zapatrują się na wpływ poszczególnych wyżej wskazanych czynników na jakość stali, przeznaczonej do wyrobu luf działowych. Wreszcie w rozdziale VI, zatytułowanym „Próby", rozpatrzymy z tegoż punktu widzenia, jakim próbom powinien być poddawany odnośny metal przy odbiorze, aby uzyskać możliwie największą gwarancję zadośćuczynienia stawianym mu wymaganiom.

I. Sposób wytwarzania stali.

Stosownie do norm przyjętych przez francuską artylerję lądową i morską, stal przeznaczona do wyrobu luf (która to stal jest zresztą zazwyczaj dostarczana przez przemysł prywatny), nie jest podporządkowana żadnym warunkom w tem, co dotyczy sposobu produkcji metalu (przy wyłączeniu jednak sposobu konwertora). Stal ta pochodziła dawniej głównie z pieców martenowskich (Francja, Rosja), jakkolwiek stosowana była na szeroką skalę i stal tyglowa (Krupp w Niemczech), wreszcie zwłaszcza w czasach ostatnich rozpowszechnia się w tym względzie elektrostal.

Fachowa literatura francuska również mało zajmuje się sposobem produkcji stali armatniej; znajdujemy w niej jednak wskazówki co do pewnych czynności, zachowanie których jest wskazane dla otrzymania najlepszego gatunku metalu; i tak inż. en chef francuskiej artylerji morskiej Métin [7]), omawiając proces martenowski w zastosowaniu do wyrobu stali przeznaczonej na lufy ciężkiej artylerji morskiej, zwraca specjalną uwagę na konieczność unikania wtrąceń żużla (inkluzje), które utrudniają obróbkę cieplną, tworzą pęknięcia, powodują przedwczesne niszczenie narzędzi i t. d.; zaleca on w tym względzie zastosowanie procesu kwaśnego przy użyciu możliwie najczystszych materjałów, skróceniu czasu operacji, unikaniu zbyt utlenia-

---

[7]) Mémorial de l'artillerie française, rok 1923, str. 403.

jącego działania gazów, powietrza i żużla, — unikaniu użycia zbyt utlenionych odpadków stali, i t. d.; o ile można sądzić z przytoczonego przez autora składu wsadu w sześciu opisanych przez niego operacjach, unika się o ile możności włączania do wsadu odpadków z luf działowych, zaś żelazochrom dorzucany jest tylko w postaci dodatków końcowych; inż. Métin zaznacza na zasadzie źródeł niemieckich (Stahl und Eisen rok 1912), że nawet elektrostal, o ile nie zachowa się specjalnych ostrożności, nie jest wolna od wtrąceń żużla.

II. Skład chemiczny.

Artylerja francuska stosuje ogólną zasadę, iż wszędzie, gdzie tylko jest to możliwe, należy unikać użycia stali specjalnej, stosując najszerzej zwykłe stale węgliste. Skala własności mechanicznych stosowanej przez artylerję francuską stali zwykłej, jest już w stanie wyżarzonym dość rozległa (wytrzymałość na rozerwanie 35—75 kg/mm², przydłużenie 25 — 5%); może być ona jeszcze znacznie rozszerzona przez hartowanie w wodzie; wynika stąd, że stale węgliste (zwykłe) nadają się do najrozmaitszych zastosowań i zasadniczo każdy rodzaj sprzętu uzbrojenia może być wykonany wyłącznie z tych stali bez uciekania się do użycia innych metali, jak zaznacza to w swoim kursie ppłk. art. franc. Velten [8]).

We Francji i w Rosji do wyrobu luf działowych używano zwykle stali węglistej, i to gatunków tem miększych, im większy był kaliber lufy, a to ze względu na trudności odkuwania bardzo dużych bloków ze stali twardej. Francuskie warunki techniczne na stal na lufy działowe nie narzucają ani sposobu produkcji tego metalu, ani też jego składu chemicznego, żądają jednak, aby stal była hartowana, — tymczasem stal węglista daje przy hartowaniu duże trudności w tym sensie, że hartowanie trudno przenika do warstw wewnętrznych, co w rezultacie może spowodować niejednorodność metalu oraz znaczne naprężenia i odkształcenia; z tego względu użycie stali specjalnych może dawać korzyści, — to też jakkolwiek artylerja francuska nie wymaga jeszcze formalnie stosowania stali specjalnej na lufy działowe, ale i nie wyklucza takowej, co stwierdza inż. gen. franc. art. morskiej Jacob [9]). Francuska prywatna wytwórnia Schneidra używa stali niklowomolibdenowej; Niemcy, jak wykazała analiza metalu luf dział niemieckich zdobytych w czasie wojny, — stosowali stal

---

[8]) Conférences faites aux contrôleurs d'artillerie. 1923—1924.
[9]) Résistance et construction des bouches à feu, tom I, str. 52 — wyd. 1920 r.

chromoniklową (Ni 2,5—3%, Cr 1,2—1,6% oraz niklowowolframową Ni 5%, W 0,55—1,75%).

O ile można sądzić z posiadanych francuskich warunków technicznych na odbiór luf a. p. 75 mm wz. 1897, francuska artylerja żądała dla wytwórni rządowych w tym względzie zwykłej stali węglistej; dokonane analizy chemiczne metalu rur rdzeniowych tych samych armat wyrobu wojennego wykazały zawartość węgla C 0,3% i chromu Cr 0,5% (analiza nie wykazała zupełnie niklu).

Jeden z wybitnych francuskich specjalistów konstrukcji sprzętu artyleryjskiego, — którego nazwisko jest znane w przemyśle polskim, lecz odnośne prace którego nie zostały ogłoszone drukiem, wypowiada się za użyciem przy wyrobie luf stali zawierającej trochę chromu (około 0,6%) przy zupełnem wykluczeniu niklu i zaznacza, iż chrom jest korzystny z tego względu, że ułatwia jednolite hartowanie (la trempe à plein coeur), zwłaszcza w grubych sztukach.

Co się tyczy ciężkich dział francuskiej artylerji morskiej, to sądząc ze wspomnianych w poprzednim rozdziale sześciu operacyj w piecu martenowskim, o których wspomina inż. en chef Métin [10]), — również używana jest głównie zwykła stal węglista.

Widzimy więc, iż Francja nie narzuca dla składu stali, przeznaczonej na wyrób luf działowych, ani niklu ani chromu [11]); nie znalazłem jednak w posiadanej literaturze francuskiej bliższych wskazówek, dlaczego nikiel ma być uważany za domieszkę niewskazaną dla luf działowych, z wyjątkiem wzmianki inż. gen. francuskiej artyl. morskiej Paquelier, iż większe ilości niklu w metalu rury rdzeniowej ułatwiają erozję przyśpieszając przepalanie [12]) i [13]).

---

[10]) Métin-Mémorial de l'artillerie française — r. 1923.

[11]) pomimo, iż zaopatrzenie francuskich wytwórni w nikiel i chrom byłoby może łatwiejszą rzeczą niż gdzieindziej, a to dzięki bogatym złożom odnośnych metali posiadanych przez Francję w jej kolonjach (Nowa Kaledonja). Być może, iż wartoby się było nad tą sprawą zastanowić i w innych krajach, które są w mniej jeszcze szczęśliwem położeniu niż Francja, a w których silnie propagowane jest hasło samowystarczalności.

[12]) Mjr. Ott: „Bouches à feu et culasses", wyd. 1923, str. 211. (Kurs Ecole Militaire de l'artillerie).

[13]) Co się tyczy szkodliwego wpływu chromu przy większych zawartościach, to Baboszin w pracy „Termiczeskaja obrabotka" (Moskwa—orgametałł 1926) stwierdza, iż rodzaje stali armatniej, które posiadały więcej chromu, niż 1% (np. około 2%) ujawniały przy kuciu lufy pęknięcia na powierzchni; inne badania wykazały szkodliwy wpływ tej domieszki z punktu widzenia powstawania tak zw. „płatków śnieżnych".

Jednakże inni autorzy (Jakowlew — Wojna i tiechnika Nr. 6/7 r. 1927 „Wlijanje powyszennych tiempieratur na miechaniczeskije kaczestwa orudijnago mietałła") uważają dodatek niklu za pożyteczny w stali, przeznaczonej na lufy armatnie, ponieważ stal niklowa w granicach temperatur od 100 do 200⁰ nie traci na granicy sprężystości i granicy wytrzymałości na rozerwanie, podczas gdy zwykła

Jeżeli wreszcie weźmiemy pod uwagę stal używaną przy wyrobie luf samowzmocnionych, to — jak zaznacza inż. gen. Jacob [14]) należy w tym celu używać stali gatunku raczej miękkiego, dającej jasno scharakteryzowany punkt zatrzymania pod koniec okresu sprężystego, i mającej możliwie dużą rozpiętość pomiędzy granicą sprężystości a granicą wytrzymałości na rozerwanie; (według niektórych posiadanych informacyj, we Francji używana była również w tym celu możliwie najbardziej jednolita zwykła stal węglista odnośnej kategorji). Wydaje się, iż sprawa ta powinnaby być uważana za bardzo ważną; w tym względzie powołam się na następujące zdanie wyżej wspomnianego wybitnego francuskiego specjalisty w dziedzinie konstrukcji sprzętu artyleryjskiego: „Może się zdarzyć, iż dla niektórych dział trzeba będzie posiadać dla wyrobu luf metal o cechach mechanicznych wyższych niż te, które można uzyskać przy użyciu stali chromowej. W tym wypadku, według naszego zdania, zamiast wcielać do stali inne obce metale, byłoby lepiej zwiększać granicę sprężystości stosując samowzmocnienie. Jeżeli nie posiada się jeszcze odnośnej instalacji, to przypuszczamy, iż konieczne byłoby usunąć tę lukę, gdyż samowzmacnianie, niezależnie od innych zalet swych, daje jeszcze tę korzyść, że pozwala urzeczywistnić bardzo znaczną oszczędność w ilości zużytego metalu dla wykonania lufy, co stanowi bardzo cenną zaletę w czasie wojny [15])".

Odnośna instalacja jest również konieczną dla wyrobu nowoczesnych koszulek wymiennych, w których osiągnięcie bardzo wysokiej granicy sprężystości uzyskane jest nie drogą wcielania większej ilości składników uszlachetniających, lecz drogą samowzmocnienia.

III. Odlanie bloka stalowego.

Francuskie warunki techniczne na stal armatnią nie dają zazwyczaj szczegółowych wskazówek, co do detali sposobu odlania bloka (np. co do sposobu lania, kształtu kokili i t. p.); wskazują jednak każ-

---

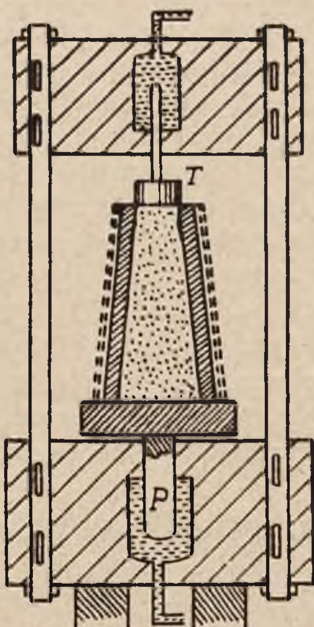
stal armatnia (rosyjska) traci w tych samych granicach temperatury około 25% swych cech sprężystych przy równoczesnem zmniejszeniu wydłużalności; Jakowlew widzi tu wyjaśnienie rzekomej większej żywotności luf niemieckich (ze stali niklowej) w porównaniu z lufami rosyjskiemi.

[14]) Résistance et construction des bouches à feu — tom I, str. 169, wyd. 1920 r.

[15]) Jakkolwiek warunki techniczne francuskie na stal działową nie zawierają żazwyczaj przepisów co do jej składu chemicznego, to jednak, oczywiście, w praktyce ograniczają zawartość w stali składników szkodliwych, jak np. P i S (warunki rosyjskie dopuszczały np. maksymalne ilości P do 0,04%, S do 0,01% lub nawet sumę zawartości $P + S \leqslant 0{,}03\%$).

dorazowo odcięcia, mające na celu wyeliminowanie wadliwych (niezdrowych) części bloków. Odcięcie w dolnej części bloka według francuskich warunków powinno wynosić zawsze co najmniej 4% całkowitej wysokości bloka; co się tyczy odcięcia w górnej części, to wielkość takowego warunki te uzależniają od tego, czy blok był poddany ciśnieniu hydraulicznemu podczas krzepnięcia, — w którym to względzie w wytwórniach francuskich stosowane są podane niżej dwa sposoby [16]).

Sposób Whitwortha używany w le Creusot w fabryce Schneidera. Forma (rys. 1) składa się z rury ze stali kutej o 100 mm grubości, ujętej w pierścienie na podobieństwo lufy armatniej. Wewnątrz for-

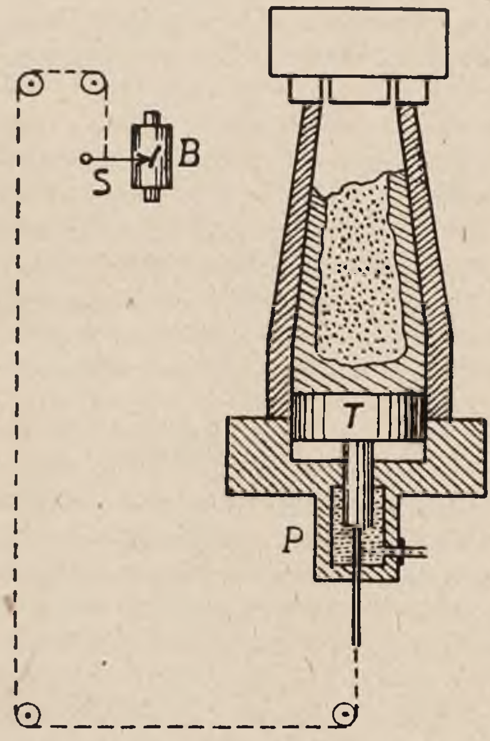


Rys. 1.
Sposób Whitworth.

my znajduje się cienka warstwa wyłożenia ogniotrwałego. Zespół ten ustawiony jest na platformie, która daje możność umieszczenia kokili na nurniku pionowym dolnej prasy P i pod tłokiem hydraulicznym T. Kokilę (formę) uprzednio rozgrzewa się, następnie napełni-

[16]) Według kursu Szkoły artyl. w Fontainebleau — 1912 (kpt. Paquatte— Metallurgie et fabrication du materiel).

roztopioną stalą i ustawia na miejscu. Opuszcza się tłok T do zetknięcia z metalem, ażeby zamknąć formę; następnie podnosi się dolny nurnik P, który podnosi kokilę i prasuje (komprymuje) stal płynną. W ten sposób blok skraca się o około 10%. Sposób ten zmniejsza ilość baniek, sprowadza on jamę usadową do cienkiego kanału mniej lub więcej wydłużonego; taka jama odlewniana o kształcie t. zw. „nitkowym" nie ma żadnego znaczenia, jeżeli idzie o przedmioty ma-



Rys. 2.
Sposób Harmet.

jące być następnie wiercone (borowane), np. lufy armatnie. Struktura metalu zostaje ulepszona; metal otrzymuje odrazu pewne cechy, które zwykle nadaje mu kucie.

b) Sposób *Harmet* (używany w stalowni w St. Etienne) (rys. 2). Forma w górnej swej części ma kształt uciętego stożka, a w dolnej kształt walca o długości, odpowiadającej skokowi tłoka T, który zamyka ją u dołu; u góry forma jest otwarta. Tłok T podnosząc się ku

górze, pod ciśnieniem płynu w prasie hydraulicznej P, zmusza metal do podnoszenia się w kokili, której przekrój zmniejsza się, wywołuje to prasowanie stali i daje skutek podobny, jak przeciąganie na ciągarkach. Szybkość wznoszenia się tłoka reguluje się w ten sposób, aby zewnętrzna powłoka bloka, która zastyga pierwsza, była stale wypełniona płynnym metalem. Szybkość ta jest urzeczywistniona wtedy, gdy ostrze wskaźnika S kreśli na bębnie B krzywą, kształt której określony jest empirycznie dla kokili danego kształtu. Sposób ten zupełnie kasuje jamę odlewnianą, prócz tego blok, będąc „przeciągany" nawet po zastygnięciu, zostaje w ten sposób poddany bardzo skutecznej obróbce [17]).

Jak wielkie znaczenie przypisuje artylerja francuska wynikom hydraulicznego prasowania stali w czasie jej krzepnięcia, widać już z tego, iż francuskie warunki techniczne na odbiór stali armatniej, które żądają, aby odcięcie w górnej części bloka wynosiło zazwyczaj co najmniej 28% całkowitej wysokości bloka, względnie jego całkowitego ciężaru [18]), — dopuszczają, iż w razie zastosowania w czasie krzepnięcia hydraulicznego prasowania stali, wspomniane odcięcie w górnej części może być według uznania odbiorcy zmniejszone do 6% [19]).

IV. Odkucie.

Sprawie odkuwania bloków, przeznaczonych na elementy luf działowych, zarówno francuskie warunki techniczne, jak też i literatura fachowa udzielają bardzo dużo miejsca, zarówno co do sposobu odkuwania i używanych przy tem środków, jak też i co do tak zw. „spółczynnika odkucia" (corroyage), czyli stosunku przekroju po-

---

[17]) Zaznaczyć należy, że tego rodzaju obróbka metalu w czasie krzepnięcia może spowodować przepuszczalność metalu dla gazu o wysokiem ciśnieniu, działającem bez przerwy w ciągu dłuższego czasu, co zostało skonstatowane przy budowie cylindrów oporopowrotników hydropneumatycznych a. p. 75 mm wz. 1897, jak to zaznacza płk. Regnault w swej broszurce p. t. „Metallurgie au point de vue de l'artillerie. 1913/1919".

[18]) Jacob — Résistance et construction des bouches à feu — tom I, str. 50, wyd. 1920.

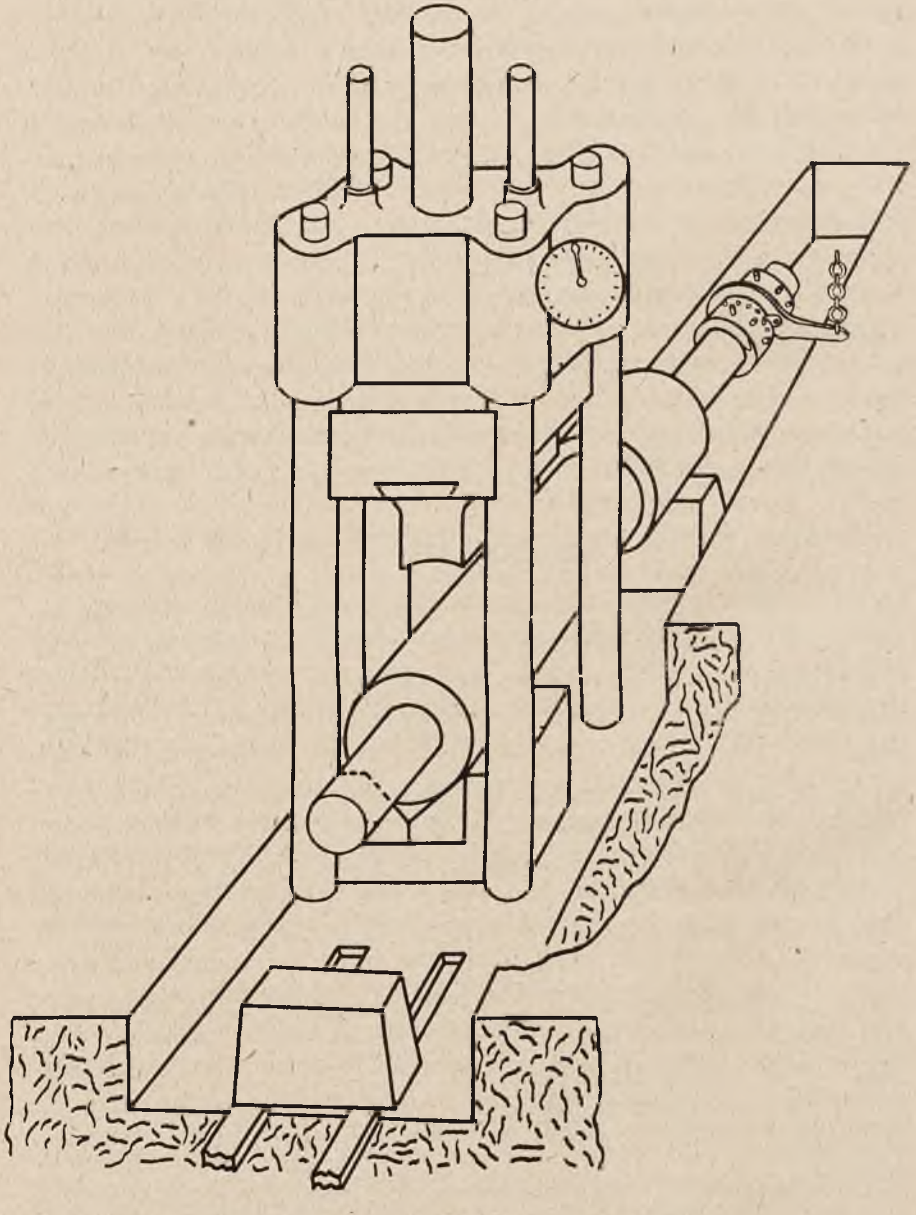
[19]) W ostatnich czasach w Stanach Zjednoczonych A. P. (Arsenał w Watertown) zaczęto stosować odlewanie luf armatnich sposobem odśrodkowym w formach wirujących (początkowo dla kal. 37 i 75 mm); dotychczasowe próby dały wyniki bardzo zadawalające zarówno pod względem zmniejszenia kosztów odlania i obróbki mechanicznej jako też pod względem cech wytrzymałościowych; sposób ten dzięki działaniu siły odśrodkowej w czasie odlewania daje korzystne rozmieszczenie segregacyj, nietylko bowiem żużel zbiera się w pobliżu przewodu i inkluzje jego mogą być usuwane następnie przy operacjach wewnętrznej obróbki przewodu, ale również węgiel rozmieszcza się obficiej w warstwach wewnętrznych (p. Army Ordnance Nr. 56 i 57 roku 1929 oraz Przegl. Artyl. Nr. 3, tomu X, marzec 1930, str 274).

przecznego wykorzystanej części bloka do przekroju poprzecznego nieobrobionego odkutego przedmiotu

Inż. en chef R. Caillol [20]), zaznacza — w tem co się tyczy bezpośrednich wyników kucia, — że takowe stwarza w sztuce odkuwanej pewien kierunek uprzywilejowany, w którym cechy wytrzymałościowe metalu zostają ulepszone na niekorzyść innych kierunków; z tablic i wykresów, podanych przez autora ,wynika, że: a) kucie zwiększa naogół udarność (zwięzłość) stali w kierunku podłużnym we wszystkich punktach masy; b) to zwiększenie udarności w kierunku podłużnym jest największe dla tych warstw metalu, które znajdowały się najbliżej powierzchni zewnętrznej bloka odlanego; c) wartość udarności w kierunku poprzecznym jest również zwiększona przez kucie dla warstw sąsiadujących z powierzchnią bloka, ale w stopniu o wiele mniejszym, niż w kierunku podłużnym; d) przyrosty wartości udarności w kierunku poprzecznym, wywołane przez kucie, zmniejszają się w miarę tego, jak przechodzimy od warstw powierzchnościowych do warstw środkowych bloka; punkty b) i d) wskazują, iż działanie operacji kucia daje się odczuć w sposób niejednakowy w centrum i na peryferji bloka; kierunek „orjentacji" metalu przez kucie zostaje bardziej zaakcentowany w warstwach środkowych, jednakowoż główna przyczyna niejednolitości cech mechanicznych w głębi bloka i na jego powierzchni, polega na niejednolitości budowy bloka, powstającej w czasie odlewania bloka do kokil. Intensywność efektów odkuwania zależna jest nietylko od stopnia wygniecenia metalu (spółczynnik odkucia), ale i od mocy narzędzia użytego dla kucia, oraz od sposobu jego działania; w tym względzie autor podaje pewne wskazówki, dotyczące porównania skutków młotowania, prasowania i walcowania; z odnośnych rozważań wynika, że walcowanie wywołuje odkształcenia o wiele bardziej symetryczne w obydwóch kierunkach, niż młot i prasa; dla zwykłych prac w kuźnictwie działanie młota i prasy może być uważane za równorzędne; moc młota lub prasy dla mniejszych sztuk odgrywa rolę drugorzędną — wystarcza naogół, aby ta moc dawała możność łatwo urzeczywistnić zamierzone przekształcenia; jednakowoż należy wziąć pod uwagę, iż własności mechaniczne metalu w danym punkcie zależą zasadniczo od ostatecznej orjentacji włókien po kuciu, wobec czego skutki działania poszczególnych rodzajów młotów i pras mogą być różne, jeżeli nie są one jednakowo zdolne do wytwarzania symetrycz-

[20]) Forgeage de l'acier; considérations sur la pénétration des effets de forgeage et sur l'hétérogénéité de l'acier forgé. Mémorial de l'Artillerie Française — 4 zeszyt kwartalny r. 1928.

nych odkształceń metalu, a w takim razie względna moc tych narzędzi musi być brana pod uwagę dla określenia tej zdolności; w rzeczy samej, jasnem jest, iż im większa będzie odkuwana sztuka stalowa, tem będzie rzeczą trudniejszą otrzymać odkształcenia symetryczne,



Rys. 3.

wobec czego mogą powstać miejscowe braki, których znaczenie będzie zależne od rodzaju narzędzia oraz jego mocy; wnioski te dotyczą, rzecz prosta, tylko tych sztuk, które zostały po odkuciu wyżarzone, celem usunięcia wpływu różnic temperatury, istniejących w końcu kucia w różnych wypadkach.

Sądząc z przykładów, opisanych w pracy inż. en chef Pécaud [22]) przy odkuwaniu bloków, przeznaczonych do wyrobu luf działowych (zwłaszcza ciężkich) częściej używane są w wytwórniach francuskich prasy, niż młoty.

Bardzo duże znaczenie artylerja francuska przypisuje t. zw. „odkuwaniu na dorniu" przy wyrobie elementów luf działowych. Sposób ten polega na tem, że po uprzedniem wydrążeniu (rozwierceniu) sztuki wsadza się do otworu doreń, poczem odkuwa się na dorniu (rys. 3), metal jest wówczas ujęty między dorniem i kowadłem z jednej, a młotem (prasą) z drugiej strony, wobec czego wygniata się we wszystkich kierunkach, aż do warstw najgłębszych; inż. gen. Jacob stwierdza, że ten sposób odkucia jest ze wszech miar godny zalecenia i winien być wymagany każdorazowo dla wszystkich elementów luf działowych, kiedy tylko jest to możliwe [21]). Sposób ten — niezależnie od wynikającej zeń istotnej korzyści, którą jest równoczesne wygniatanie metalu w kilku kierunkach—daje jeszcze i tę korzyść, że najczęściej wymaga uprzedniego usunięcia przez rozwiercanie osiowej części bloka wraz z zawartą w niej najszkodliwszą mieszaniną likwacyjną; jest on szeroko stosowany we Francji, jak można sądzić z opisu poszczególnych przykładów fabrykacyj, przytoczonych przez inż. en chef Pécaud [22]).

Co się tyczy określonego uprzednio spółczynnika odkucia, to co do wartości jego, zdania francuskich specjalistów są do pewnego stopnia podzielone. I tak inż. en chef francuskiej artylerji morskiej Mercey [23]) wypowiada zdanie, że stosowanie możliwie największych spółczynników odkucia jest zawsze korzystne; inż. gen. Jacob [24]) stwierdza, iż marynarka francuska żąda, aby spółczynnik odkucia był co najmniej równy 4 dla elementów przeznaczonych na rury rdzeniowe, natomiast dla innych elementów (obsady, pierście-

---

[21]) Jacob — Resistance et construction des bouches à feu — tom I, str. 51, wyd. 1920 r.

[22]) Pécaud. Fabrication du matériel. 1912. (Kurs Ecole d'application de l'artillerie navale).

[23]) Les conditions de fabrication et de recette des éléments de canons de l'artillerie navale — Mémorial de l'artillerie française, 1923, str. 44.

[24]) Jacob — Résistance et construction des bouches à feu — tom I, str. 50, wyd. 1920 r.

nie) spółczynnik ten może być w pewnych wypadkach obniżony do 2,5. Jednakże prof. Charpy [25]) zaznacza, iż spółczynnik odkucia musi być ograniczony, co potwierdzają również ppłk. Velten i inż. en chef Caillol.

Ppłk. Velten [26]) zaznacza, że zbyt duże wartości spółczynnika odkucia K są niekorzystne, gdyż przy zbyt dużym K zwięzłość czyli udarność metalu wzrasta w kierunku „wzdłuż", lecz zmniejsza się w kierunku „wpoprzek"; granica wytrzymałości R i granica sprężystości E mało zmieniają się, przewężenie (strykcja) zmienia się w tym samym sensie co udarność; wynikałoby więc z tego, że zbyt duży spółczynnik odkucia K zbytnio osłabia metal w kierunku poprzecznym, dlatego też nie należałoby dla K przekraczać wartości 2.

Inż. en chef Caillol [27]) zaznacza, że stosowanie niepomiernie dużych spółczynników odkucia może wywołać obniżenie własności mechanicznych metalu, i to nawet w kierunku podłużnym; naogół uważać należy za bardzo skuteczne kolejne przekuwanie jednej i tej samej masy metalu w kilku różnych kierunkach. Ponieważ metal najbardziej wytrzymały znajduje się w warstwach najbliższych do powierzchni sztuki, należy unikać skrawania zbyt dużej ilości metalu bliskiego do peryferji tej sztuki, — z czego wynika, iż należy doprowadzać przez kucie sztukę do wymiarów możliwie najbliższych do jej wymiarów ostatecznych; dla ulepszenia cech metalu w kierunku poprzecznym należy zmniejszać spółczynnik odkucia oraz dążyć do zwiększenia strefy powierzchnościowej bloka; należy, o ile możności, stosować odkuwania w kilku różnych kierunkach, stosując t. zw. „odkucie z otworem" (na dorniu), wreszcie należy brać w każdym poszczególnym wypadku pod uwagę rodzaj i kierunek wysiłków, którym ma być poddana sztuka odkuta, i pamiętać o tem ,że określenie wartości żądanego spółczynnika odkucia nie jest wystarczające dla stworzenia pewnego minimum gwarancji, w przeciwieństwie do tego, co zbyt często widzimy w warunkach technicznych; w rzeczy samej, korzystniej będzie opierać się na kolejnych fazach odkształceń mechanicznych, którym poddany jest blok w stanie gorącym — aniżeli na samym tylko stosunku przekroju poprzecznego wykorzystanej części bloku do przekroju poprzecznego odkutego nieobrobionego przedmiotu, który to stosunek jest zresztą częstokroć bardzo trudny do ustalenia.

---

[25]) Les conditions de fabrication et de recette des elements de canons de l'artillerie navale — Memorial de l'artillerie française, r. 1924, str. 885.

[26]) Conferences faites aux contrôleurs d'artillerie. 1923—1924.

[27]) Forgeage de l'acier; considerations sur la penetration des effets de forgeage et sur l'heterogeneite de l'acier forge. Memorial de l'artillerie française 1928.

Reasumując powyższe dyskusje i powołując się w tym względzie na zdanie ppłk. Veltena [26]), powiedzieć możemy, iż według francuskich poglądów są następujące sposoby zapobiegania zbytniemu osłabieniu metalu „wpoprzek“:

1) Zmniejszenie spółczynnika odkucia K do 2 w przeciwieństwie do poprzednich błędnych pojęć w tym względzie.

2) Zwiększenie wartości strefy powierzchnościowej bloków; pod tym względem korzystnem więc będzie użycie małych bloków.

3) Wygniatanie w kilku kierunkach: kiedy tylko to jest możliwe, należy stosować odkuwanie z otworem.

V. Obróbka cieplna (termiczna).

W posiadanej przez nas francuskiej literaturze fachowej oraz we francuskich warunkach technicznych na odbiór stali armatniej nie znajdujemy zupełnie dokładnie sprecyzowanych wskazówek, dotyczących obróbki cieplnej bloków przeznaczonych na wyrób luf działowych.

Jest to dość zrozumiałe z tego względu, iż nie narzucając składu chemicznego metalu, warunki te nie mogą narzucać ściśle określonej pod względem fizyko-chemicznym obróbki termicznej, gdyż takowa jest ściśle związana z istotą składu chemicznego.

W warunkach francuskich znajdujemy jednak pewne ogólne wskazówki dotyczące sposobu wykonywania poszczególnych operacyj, jak to widać np. z dwóch niżej przytoczonych przykładów:

a) *Stal na rury rdzeniowe luf a. p. 75 mm wz. 1897:* elementy winny być hartowane i odpuszczane; sposób hartowania zależny jest od uznania dostawcy z tem zastrzeżeniem, że hartowanie będzie dokonane pionowo (hartowanie poziome jest stanowczo wzbronione) i że hartowanie uskutecznia się przez jednoczesne i całkowite zanurzenie przedmiotu. Operacje hartowania będą mogły być powtarzane tyle razy, ile dostawca będzie uważał za niezbędne, lecz za każdym razem element winien być odpuszczony; w razie gdy przy hartowaniu element ulegnie wykrzywieniu, to takowe może być usunięte na gorąco, o ile wykrzywienie nie przekracza 0,005 długości elementu; w każdym razie temperatura przy tej operacji powinna być niższa od temperatury ostatniego odpuszczenia; skądinąd wyprostowanie powinno być zakończone przy temperaturze $\succ$ 400° lub przy temperaturze między 60° a 150° i w tym ostatnim razie winno być dokonane ostatnie całkowite wyżarzenie przy temperaturze między 400° a 450°.

b) *Stal na rurę rdzeniową armaty morskiej 240 mm:* po odkuciu bloka, takowy zostaje wyżarzony w piecu rewerberowym przy temperaturze 950°, a następnie szybko ochłodzony do temperatury 500° (przez otworzenie drzwi pieca), poczem następuje powolne ochłodzenie w popiole do temperatury normalnej, warsztatowej; po rozwierceniu tak przygotowanego bloka, otrzymana z niego rura zostaje poddana dwukrotnemu hartowaniu pionowemu:

1-e hartowanie przy temperaturze 950° w oleju i odpuszczenie przy temperaturze 600—650°,

i 2-gie hartowanie przy temperaturze 850° w oleju i odpuszczenie przy temperaturze 600—650°, po którem następuje wyprostowanie rury przy temp. 275°—300° oraz ogólne wyżarzenie przy temperaturze 500° [28]).

Przy tej sposobności zaznaczam, iż wspomniany już w niniejszym artykule wybitny specjalista francuski podkreślił, iż stosowany w niektórych razach sposób, polegający na początkowem odkuciu sztuki, po którem następuje najprzód obróbka termiczna, a potem dopiero obróbka (na tokarce) mająca na celu zbliżenie bałwanki do wymiarów ostatecznych (ébauchage — „ośrutowanie") nie jest zupełnie racjonalny, i należałoby — celem lepszego wykorzystania obróbki cieplnej, wyniki której dają się bardziej odczuć na powierzchni zewnętrznej — przestawić porządek dwóch ostatnich uprzednio wskazanych operacyj.

VI. Próby.

Artylerja francuska z wyjątkiem wypadków specjalnych (jak np. przy wyrobie jaszczy art. 75 mm ze specjalnej stali niklowej), nie narzuca przemysłowi składu chemicznego używanej stali, wobec czego przy odbiorze metali analiza chemiczna dokonywana jest tylko tytułem próby informacyjnej.

Co się tyczy prób metalograficznych, to artylerja francuska odnosiła się dotąd do nich z dużą ostrożnością, a nawet z dość nieuzasadnionym brakiem zaufania. Tłumaczyło się to z jednej strony zawodnością prób makrograficznych, z drugiej — względną nowością metody mikrograficznej, która do niedawna nie była jeszcze dość udoskonalona, zarzucano tym metodom to, że czynnik indywidualny w ocenie wyników odgrywa tu bardzo dużą rolę, wobec czego mogą one

---

28) prof. Métayer — Sidérurgie — kurs Paryskiej Szkoły Centralnej r. 1910.

prowadzić do konfliktów między odbiorcą a dostawcą, — i odmawia no przyjęcia ich jako miarodajnych przy odbiorze stali [29]).

Największe znaczenie artylerja francuska przywiązuje do prób mechanicznych; winny one być dokonywane w taki sposób, aby dać pojęcie o cechach mechanicznych stali w tej postaci metalu, w której wejdzie on do gotowego przedmiotu. Jak to było uprzednio zaznaczone, artylerja żąda, aby stal była zahartowana; stąd nasuwa się wniosek, że jakkolwiek do kompletnego zdania sobie sprawy o gatunku metalu należałoby dokonywać prób w 2 okresach, a mianowicie przed i po cieplnej obróbce, — to jednak próby po cieplnej obróbce mają znaczenie o wiele większe, gdyż odpowiadają one temu stanowi, w którym metal zostaje zastosowany w budowie i zostaje oddany do użycia; dawniej obie kategorje prób były uważane za obowiązkowe i miarodajne; obecnie jako obowiązkowe i miarodajne artylerja narzuca tylko próby mechaniczne po cieplnej obróbce, przyczem próby przed hartowaniem są dokonywane tylko jako informacyjne [30]). Kierunek wysiłków przy próbach powinien uwzględniać kierunek głównych wysiłków, powstających przy strzale, to też warunki techniczne przepisują branie próbek w kierunku „wpoprzek" i „wzdłuż" w stosunku do osi rury.

Francuskie warunki techniczne na stal, przeznaczoną do wyrobu elementów luf działowych przepisują dokonywanie prób mechanicznych a) na ciągnienie, b) na zgięcie i złamanie przez uderzenie.

a) Wyniki prób *na ciągnienie* są do pewnego stopnia zależne od kształtu próbek, który — jakkolwiek nie wpływa na pomiar granicy wytrzymałości — lecz ma wpływ na cyfrę wydłużenia A%; to też francuskie warunki techniczne, określając wymagania co do żądanego minimum granicy wytrzymałości R, granicy sprężystości E oraz wydłużenia A%, ustalają kształt próbek, oczywiście stosownie do norm francuskich. W warunkach francuskich wskazywane są zazwyczaj dla R i dla E dwie liczby: minimum indywidualne i minimum średnie dla pewnej ilości próbek; to ostatnie jest zazwyczaj większe o około 3 kg/mm^2 od pierwszego (np. dla minimum R indywidualnie 62 kg/mm^2, średnio 65 kg/mm^2; dla minimum E indywidualnie 37 kg/mm^2, średnio 40 kg/mm^2). Za najważniejszy pomiar artylerja francuska uważa pomiar granicy sprężystości E; jest to zrozumiałe, gdyż idzie o to, aby przy służbie lufy, takowa nie otrzymywała od

[29]) por. inż. gen. Jacob: „Résistance et construction des bouches à feu" wyd. 1920 r., tom I, str. 63.

[30]) inż. gen. Jacob wskazuje, że hartowanie powinno powiększać E co najmniej o 5 kg/mm^2 (l. c. str. 58).

strzału do strzału żadnych nowych odkształceń trwałych, gdyż powodowałoby to różnice w kalibrze i dodając się do efektów normalnego zużycia, wywoływałoby szybkie zmiany cech balistycznych działa; dlatego też pojęciu „granica sprężystości" francuska literatura artyleryjska poświęca dużo miejsca; pojęcie to musi być bardzo dokładnie sprecyzowane, gdyż fizycy zarzucają mu, że nie odpowiada ono żadnej cesze fizycznej, co doprowadziło do rozpatrywania innych pojęć, jak granica proporcjonalności lub granica podatności, tembardziej, iż — zwłaszcza dla gatunków stali miękkiej, — w odnośnem miejscu na wykresie często zamiast punktu powstaje linja łamana; otrzymanie na wykresie takiego „punktu zatrzymania", daje łatwy i praktyczny sposób określenia najwyższego obciążenia w okresie sprężystym; dla tak określonej granicy sprężystości znajdujemy we francuskiej literaturze nazwę „jawna granica sprężystości" (limite d'élasticité apparente)[31]); jest ona przyjęta ogólnie w bieżących próbach odbiorczych w artylerji francuskiej; ponieważ wszakże „punkt zatrzymania", zjawienie się którego zależne jest od wielu czynników, między innemi i od szybkości wykonywania próby, nie ma znaczenia fizycznego, więc z punktu widzenia naukowego nie może on dawać ścisłego pomiaru granicy sprężystości; prócz tego niektóre gatunki stali (nawet twardsza stal węglista) nie dają punktu zatrzymania i odnośny wykres ma wygląd ciągły bez punktów kątowych. Koniecznem więc było określić dokładny sposób oznaczania tej granicy sprężystości; inż. en chef Malaval[31]) daje wskazówkę, że warunek opiewający, iż dany metal ma mieć granicę sprężystości *E* kg mm^2 uważa się za wypełniony ,jeżeli próbka, poddana przez *10 sekund* obciążeniu wywołującemu naprężenia jednostkowe *E* kg mm^2, po odciążeniu powraca do swej pierwotnej długości z tolerancją do 0,002 takowej (według norm francuskiej komisji normalizacyjnej).— inż. gen. Jacob[32]) wskazuje sposób następujący: „w praktyce, jeżeli powinniśmy mieć granicę sprężystości co najmniej 45 kg/mm^2, to należy umieszczać osie optyczne lunetek na odległości, równej odległości między znakami[33]), zwiększonej o: 1^0, wartość wydłużenia sprężystego, odpowiadającego naprężeniu 45 kg/mm^2;—2^0 wartość równą 0,001 długości próbki. W chwili osiągnięcia obciążenia 45 kg/mm^2, znaki powinny znajdować się wewnątrz osi optycznych; lub też od-

---

[31]) Mémoire sur les propriétés mécaniques des métaux. — Mémorial de l'artillerie française. 1922.

[32]) Résistance et construction des bouches à feu — tom I, str. 58—wyd. 1920.

[33]) mowa tu o znakach (repères), które są wybite na próbce i których wzajemna odległość określa długość próbki.

wrotnie, jeżeli znaki są na osiach optycznych, to obciążenie powinno być wyższe niż 45 kg/mm²".

Takie praktyczne określenia granicy sprężystości odpowiadają zupełnie wymaganiom praktyki; ponieważ wyniki odnośnej próby wyrażają się przez zastosowanie pewnych liczb i nie powodują konieczności indywidualnej interpretacji, nie powinny one wywoływać konfliktów, co jest szczególnie ważne właśnie w stosunku do granicy sprężystości, która z punktu widzenia artylerji jest prawdziwie charakterystyczną cechą metalu, gdyż zadaniem odnośnego warunku jest ustrzec fabrykat przed odkształceniem trwałem w czasie jego użycia, co wywołałoby obniżenie jego zdatności do dalszej służby; jeżeli zaś idzie o najbardziej odpowiedzialną część sprzętu, t. j. lufę działową, to same wzory stosowane dla obliczenia jej wytrzymałości dają wyniki, które właśnie z granicą sprężystości *E* muszą być porównywane.

Warunki dotyczące % wydłużenia *A* i zwężenia (strykcji) A_s, miały na celu zabezpieczenie konstruktora przed kruchością metalu, bo zazwyczaj im większa jest ciągliwość tem stal jest mniej kruchą; wielkości te otrzymuje się na zasadzie wzorów:

$$A = 100 \frac{L' - L}{L}$$

$$A_s = 100 \frac{S - S'}{S}$$

gdzie *L* oznacza pierwotną długość próbki
„ *L'* „ końcową długość próbki,
„ *S* „ pierwotny przekrój próbki,
„ *S'* „ najmniejszy końcowy przekrój próbki rozerwanej w miejscu rozerwania.

A i A_s są w pewnej mierze związane z sobą; to też w warunkach technicznych na stal dla artylerji dopuszczono, że pewien brak wydłużenia może być kompensowany przez pewną nadwyżkę przewężenia (np. *A* minimum 12% z możnością zmniejszenia do 10%, pod warunkiem, aby $A_s \geqslant 45\%$) [34] i [35]).

b) Próby *na zgięcie i złamanie przez uderzenie.* Próby te mają mieć zasadniczo na celu określenie kruchości metalu; odbywają się one bądź na *próbkach bez karbu*, bądź na *próbkach z karbem.* Co do

---

[34]) Ing. gen. Jacob „Résistance et construction des bouches à feu", wyd. 1920 r., tom I, str. 15, 18 i 58.

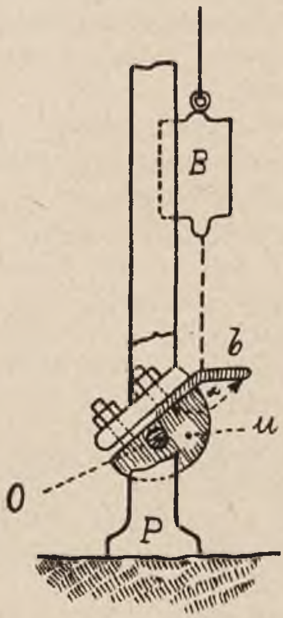
[35]) Płk. Regnault „Métallurgie au point de vue de l'artillerie" 1913/1919.

prób tych zdania francuskich specjalistów są bardzo podzielone. Zresztą samo pojęcie „kruchości" nie poddaje się żadnemu dokładnemu określeniu. Płk. Regnault [35]) uważa, że zjawiska obserwowane, a dotyczące pojęcia „kruchości" mogą być podzielone na dwie różne grupy:

a) kruchość w masie odpowiadająca t. zw. „wytrzymałości żywej złamania",

b) kruchość strukturalna.

Próby nie są do tego dostosowane; niezupełnie wiadomo co się mierzy, to też tacy specjaliści ,jak ppłk. Velten [36]) uważają, że pró-



Rys. 4.

by na sztabkach bez karbu nie mają żadnego praktycznego znaczenia i wartości, — a jednak próby te jeszcze do dziś dnia są stosowane w artylerji francuskiej. Próby te odbywają się w sposób następujący:

1) Próba zwana „na zgięcie przez uderzenie": na próbkę (której kształt i wymiary są określone w warunkach technicznych), umo-

---

36) Ppłk. Velten „Conférences faites aux contrôleurs d'artillerie" 1923—1924.

cowaną w imadle na 1/3 swej długości (rys. 4), spada baba *B* określonego ciężaru z określonej wysokości, tak, aby uderzenia baby były dokonywane prostopadle do próbki i na jej swobodny koniec; w tym celu uchwyt *u* po każdem uderzeniu zostaje obracany dookoła swej osi *O* tak ,aby część *b* próbki, otrzymująca uderzenia, pozostawała pozioma; warunki techniczne przepisują minimum uderzeń, które próbka powinna wytrzymać zanim zostanie złamana; po złamaniu próbki wewnętrzny kąt zgięcia α nie powinien być większy od pewnej wartości również określonej w tych warunkach technicznych (warunki techniczne określają również ciężar podstawy *P*).

Francuska artylerja morska stosuje w tym względzie trzy typy próbek:

Próbki	Nr 1	Nr 2	Nr 3
wymiary	70×24×9 *mm*	67× 24×9 *mm*	35×15×7 *mm*
uderzeń minimum	13	12	9
α	125°	130°	140°
ciężar baby		10 *kg*	
wysokość spadku		500 *mm*	
ciężar podstawy		165 *kg*	

2) Próba zwana „na złamanie przez uderzenie" zostaje dokonana w ten sposób, iż próbka, której kształt i wymiary są wskazane w warunkach technicznych, zostaje umieszczona na dwóch nożach, poczem na środek jej spada baba określonego ciężaru i z określonej wysokości (warunki techniczne określają prócz tego odległość między nożami, ich wysokość oraz ciężar podstawy); próbka musi wytrzymać przed złamaniem pewne minimum uderzeń określone w warunkach technicznych.

Francuska artylerja morska stosuje w tym względzie dwa typy próbek:

Próbki	Nr 1	Nr 2
wymiary	200×30×30 *mm*	150×20×20 *mm*
odległość między nożami	160 *mm*	120 *mm*
wysokość spadku	1750 *mm*	1100 *mm*
uderzeń minimum	15	20
wysokość noży	50 *mm*	
ciężar podstawy	350 *kg*	
ciężar baby	18 *kg*	

Jakkolwiek specjaliści są zdania ,iż podobne próby z próbkami bez karbu nie mają racji bytu, to jednak artylerja francuska dotąd

przytrzymuje się ich; przyczyną tego jest ten wzgląd, że stal przyjmowana na mocy tych wniosków — być może wątpliwych — odpowiadała jednak prawie zawsze pokładanym w niej nadziejom. Duże ryzyko wprowadzenia nowości bez dostatecznej pewności, co do ich wartości naukowej i praktycznej uzasadnia niechęć do porzucenia metod dotychczasowych ,dających jednak dobre wyniki. Stwierdzamy tu raz jeszcze duży konserwatyzm [37]).

Użycie próbek z karbem, celem którego jest przygotować zawczasu i umiejscowić ten przekrój próbki, w którym nastąpi złamanie jej, również jest przedmiotem dyskusji. Jakkolwiek z tego punktu widzenia wydaje się ten kształt próbek logiczniejszym od poprzedniego, to jednak próby te nie są wolne od krytyki. Nie mówiąc o próbach na gięcie z karbem prof. Heyn'a (nazywanych przez niego „Kerbschlagbiegungsprobe"), (w których próbka umocowana jest w imadle, poczem w jej swobodny koniec zostają dokonywane młotkiem uderzenia aż do zgięcia jej pod kątem 90°; poczem znów wyprostowuje się ją i t. d.), w których to próbach liczba zgięć może charakteryzować do pewnego stopnia kruchość, i które to próby specjalnie nadają się do wykrycia cech przegrzania stali ,jednak nie mogą być uważane jako ogólnie miarodajne, bo zależą w znacznym stopniu od sposobu dokonywania uderzeń, — próbki z karbem stosowane są przy pomiarach t. zw. „zwięzłości" czyli „udarności" (inaczej zwanej odpornością na uderzenie) na przyrządach takich jak młot Charpy ,który mierzy jednostkową (t. j. na cm² przekroju) pracę właściwą, pochłoniętą przez złamanie próbki. Jednakowoż i wyniki tych ostatnich prób są kontestowane; nie ulega wątpliwości, że na wynik próby Charpy wpływają: a) kształt karbu, b) szybkość młota w chwili uderzenia, — i już ze względu na te dwie przyczyny wyniki mogą być uważane za porównalne między sobą tylko w takim razie, jeżeli będziemy używali jednego ściśle określonego typu próbek oraz młota jednego typu, dającego zawsze tę samą szybkość w chwili uderzenia. Lecz sprawa komplikuje się jeszcze bardziej, ponieważ sam przebieg zjawiska zależy również i od cech metalu; inż. gen. Jacob [38]) zaznacza, że jeżeli oznaczymy przez S_k i S przekroje próbki wewnątrz karbu i poza karbem to dla $\frac{S_k}{S} < \frac{E}{R}$ nie będzie znacznego odkształcenia trwałego próbki i praca złamania będzie

---

[37]) Płk. Regnault: „Metallurgie au point de vue de l'artillerie" 1913/1919.

[38]) Résistance et construction des bouches à feu — wyd. 1920 r. — tom I, str. 62.

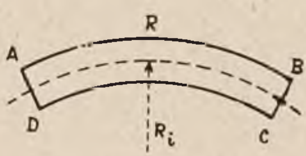
bardzo mała, zaś dla $\frac{S_k}{S} > \frac{E}{R}$ próbka otrzyma znaczne odkształcenia trwałe i praca złamania będzie większa; wynika stąd, że zmierzona udarność zależna będzie od tego czy $\frac{S_k}{S} \gtreqless \frac{E}{R}$; więc wpływ karbu zmienia się w zależności od cech wytrzymałościowych metalu. Stąd Jacob wyciąga wniosek, iż wpływ karbu wyraża się przedewszystkiem we wprowadzeniu nowej dodatkowej komplikacji do zjawiska i tak już bardzo skomplikowanego. Dlatego też artylerja francuska uważała za przedwczesne wprowadzenie próby udarności na próbkach z karbem przy odbiorze stali, a zwłaszcza stali na lufy działowe.

Poprzednio omówione próby (na ciągnienie oraz na zgięcie i złamanie przez uderzenie na próbkach bez karbu), są dotychczas stosowane, jako regulaminowe, przy odbiorze stali przeznaczonej dla wyrobu luf francuskiej artylerji zarówno lądowej ,jak i morskiej. Jednakże sprawa zmiany względnie uzupełnienia odnośnych warunków nie przestaje być przedmiotem badań najwybitniejszych przedstawicieli francuskiej techniki artyleryjskiej.

I tak w końcu roku 1929 inż. gen. Malaval ogłosił notatkę [39]) którą streścić można w sposób następujący: autor zaznacza na wstępie, iż naogół w rurach odkształconych ograniczamy się do rozpatrywania sił poprzecznych, zakładając, że siły podłużne mają wartość stałą w poszczególnych warstwach i że wszelkie ciągnienie wywarte na dno rozkłada się równomiernie; hipoteza powyższa nie odpowiada jednak rzeczywistości i ma tę wadę, iż prowadzi ona do odrzucenia a priori sił, wielkość których nie jest, być może, nieznaczna; celem notatki było przypomnieć o wartości różnych naprężeń głównych, zachodzących w rurze, i wykazać zupełną analogję między zjawiskiem odkształcenia rur a zjawiskiem zginania szerokich blach (płyt). W tym cel autor bierze za punkt wyjścia odkształcenia i naprężenia powstające w sztabach o przekroju kwadratowym, poddanych gięciu kołowemu (rys. 5 i 6; — odnośne doświadczenia są najbardziej uderzające przy użyciu sztabek gumowych); zamieniając w przekroju kwadrat przez prostokąt, którego większy bok jest równoległy do osi gięcia i staje się stopniowo coraz dłuższy, autor przechodzi do zjawiska zginania kołowego szerokich blach (płyt), przyczem — jeżeli blacha ma dostateczną długość, aby jej końce mogły

[39]) Note au sujet d'un programme d'étude des aciers — Mémorial de l'artillerie française — IV kwartał, r. 1929, str. 903.

być doprowadzone do wzajemnego zetknięcia, — otrzymamy w ten sposób rurę. Wymienione zjawisko autor rozpatruje zarówno w okresie sprężystym, jak też i w okresie odkształceń trwałych i wykazuje w pierwszym wypadku zupełną analogję ze zjawiskiem ciągłego sprężystego bandażowania rury, — w drugim zaś — ze zjawiskiem samobandażowania czyli samowzmocnienia pod wpływem ciśnienia

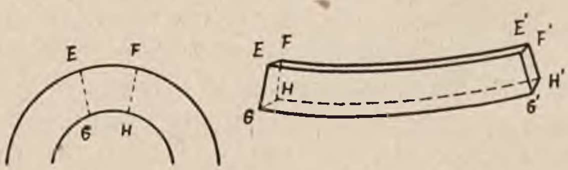


Rys. 5.



Rys. 6.

wewnętrznego w rurze. W tem co dotyczy powstających przytem sił podłużnych, autor dowodzi, że w pierwszym wypadku $^1/_9$ [40]) ostatecznej—istniejącej w rzeczywistości—wartości zaciskania średnicowego jest do zawdzięczenia powstającym przytem naprężeniom podłużnym (jeżeli zjawisko odbywa się bez tarcia); w drugim wypadku (zginanie blachy w okresie zimnej obróbki oraz samowzmacnianie rury), powstające siły podłużne wynikają z faktu poprzecznych od-

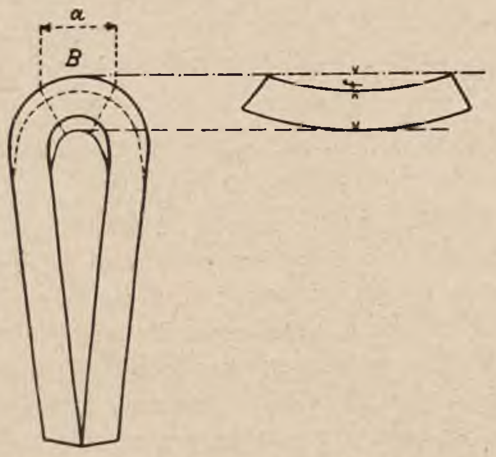


Rys. 7.

kształceń trwałych, przyczem każda warstwa dąży do otrzymania długości innej, niż warstwy bezpośrednio z nią stykające się, zaś dążności tej staje na przeszkodzie opór przeciw ślizganiu w kierunku podłużnym. Z rozważań tych wynika, *że próba na gięcie kołowe może być uważana jako najlepsza próba stali armatniej (rys. 7 i 8).* Odnośnie okresu zimnej obróbki autor zaznacza, że jedną z najważniejszych rzeczy jest ustalenie granicy odkształceń trwałych, w ten sposób ,aby w niczem nie narazić bezpieczeństwa użycia tak wykonanych rur, i przytacza następujące wyniki prób dokonanych w tym

[40]) Autor przyjmuje tu wartość spółczynnika przewężenia poprzecznego (liczba Poissona m = 1/3; we wzorze ogólnym mielibyśmy zamiast 1/9 symbol m^2).

względzie w Centralnem Laboratorjum francuskiej marynarki: „Poddano porównawczym próbom na uderzenie próbki, pochodzące z jednej i tej samej stali armatniej, przyczem jedne z nich nie były uprzednio odkształcone, inne zaś były poddane odkształceniu trwałemu (wydłużeniu) 3%, t. j. dziesięciokrotnie większemu ,aniżeli przy samo-



Rys. 8.

wzmacnianiu; próby nie były w stanie wykryć — ani z puktu widzenia liczby uderzeń, ani z punktu widzenia strzałek po złamaniu — żadnej różnicy w kruchości obu z wyżej wymienionych kategoryj próbek, przyczem wpływ przypadkowej niejednolitości metalu był o wiele większy, niż wpływ wspomnianej zimnej obróbki".

Z notatki swej autor wyprowadza wnioski następujące: pomiary zdolności metalu do odkształcania się, zbadanej w dwóch skrajnych wypadkach (ciągnienia oraz ściskania, działających każde oddzielnie) wskazują, iż w obecnej praktyce samowzmocnienia luf, zmniejszamy zazwyczaj o mniej niż 1 % wartość odkształcenia, które metal mógłby otrzymać w tych samych warunkach wysiłków, — tymczasem gdy — zmniejszając je nawet o kilka %, — nie było możliwem zauważyć zwiększenia się kruchości metalu; jest jednak interesującą rzeczą rozszerzyć wiadomości uzyskane ze zbadania wyżej wspomnianych dwóch wypadków skrajnych, przez studjum, a) wypadku pośredniego, a mianowicie określić zdolność odkształcania się stali pod działaniem dwóch naprężeń: ciągnącego i ściskającego, działających równocześnie w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach, mających w każdej chwili jednakowe wartości bezwzględne i wzrastających stopniowo aż do rozerwania próbki, — b) prawa odkształceń (aż do

chwili rozerwania) próbki poddanej ciągnieniu w środowisku stopniowo wzrastającego równomiernego ciśnienia; c) wpływu, wywieranego na cechy charakterystyczne próby na siłę ciągnienia w pewnym kierunku, przez siłę ciągnącą w kierunku prostopadłym do pierwszej i mogącą osiągnąć połowę jej wartości. Badania te będą dokonane w Centr. Laboratorjum marynarki francuskiej z jednej strony przez gięcie szerokich blach, z drugiej zaś — przez wytwarzanie ciśnienia hydraulicznego w wydrążonym walcu o cienkich ściankach, zamkniętym na obu końcach.

Oprócz prób dokonywanych bezpośrednio na stali, przeznaczonej do wyrobu luf działowych, — francuskie warunki techniczne przewidują tak zwane „próby robotą". Próby te polegają na poddaniu każdej lufy w stanie gotowym próbnemu ostrzałowi, w którym figuruje zazwyczaj, — oprócz strzałów o ładunku zmniejszonym i normalnym,—ostrzelanie przy ładunku prochu zwiększonym, dającym ciśnienie w przewodzie zwiększone o około 20%; warunki techniczne przepisują ilość i rodzaj strzałów, które mają być oddane przy próbnym ostrzale, oraz najwyższą dopuszczalną tolerancję dla odkształceń, które mogą powstać przy próbnym ostrzale, a które stwierdzane są przez pomiary gwiazdą ruchomą przed próbnym ostrzałem i po nim. Z próby tej można wyprowadzić wniosek co do tego, w jaki sposób metal lufy odpowiada swemu zadaniu. Zasada ta jest prosta i logiczna, lecz kryje w sobie niebezpieczeństwo dla dostawcy stali, który może być narażony na odrzucenie całej partji przygotowanego metalu z powodu złego wykonania lufy, które może być zupełnie niezależne od jakości samego metalu, co narazić go może niezasłużenie na duże straty. To też, o ile odbiorcy wolą częstokroć próby robotą — to dostawcy wolą zawsze próby bezpośrednie z próbkami stali, pobranemi przed oddaniem jej do obróbki [41]).

Wreszcie podkreślić należy znaczenie, które w zespole prób stali, przeznaczonej do wyrobu luf działowych, może posiadać proces samowzmacniania, który dzięki wytworzeniu wewnątrz rury potężnego ciśnienia wyższego i działającego w ciągu okresu czasu bez porównania dłuższego niż ciśnienie gazów prochowych przy strzale, z natury swej pozwala wykryć zawczasu ewentualne wady metalu rury, który w takim razie będzie odrzucony niezwłocznie po operacji samowzmocnienia; pozwoliłoby to uniknąć kosztów, które pociąga za

---

[41]) ppłk. Velten. Conférences faites aux contrôleurs d'artillerie 1923—1924.

sobą poddanie takiego wadliwego metalu kosztownej obróbce i operacjom scalania (assemblage), — po których wady zostają ujawnione dopiero przy próbnym ostrzale, co powoduje definitywne odrzucenie lufy gotowej, a zatem nieprodukcyjny znaczny wydatek. Jest to wzgląd, który należy mieć na uwadze niezależnie od innych zalet luf samowzmocnionych, któremi — oprócz ewentualnych korzyści z punktu widzenia balistycznego — jest jeszcze oszczędność na ilości metalu oraz uniknięcie trudnych i kosztownych operacyj, jakiemi przy wyrobie zwykłych luf działowych złożonych jest scalanie elementów bardzo dokładnie obrobionych, celem urzeczywistnienia należytych, przewidzianych w projekcie konstrukcyjnym, zaciskań średnicowych, które to zaciskania, a zatem i wynikająca z nich moc sprężysta lufy złożonej, będą zależne od urzeczywistnienia tolerancyj fabrykacyjnych [42]).

Zakończenie.

O ile weźmiemy pod uwagę poszczególne przesłanki i rozważania, zawarte w poprzednich rozdziałach, — to mogą nasunąć się wnioski, iż kraj, który miałby na względzie nietylko własną samowystarczalność w dziedzinie wyrobu sprzętu artyleryjskiego, ale który zamierzałby również w dalszej przyszłości produkować takowy i na eksport, — musiałby mieć na uwadze rozwiązanie w odpowiednim czasie zagadnień następujących:

1° wyjaśnienie możności zastosowania do wyrobu luf działowych stali produkowanej z materjałów krajowych, o ile możności zwykłej stali węglistej, wyrabianej w odpowiedni sposób w piecach elektrycznych;

2° założenie instalacyj, pozwalających na wyzyskanie sposobów odlewania stali możliwie najbardziej gwarantujących jakość bloka stalowego, specjalnie zaś instalacyj do hydraulicznego prasowania stali w czasie krzepnięcia;

3° należyte wyposażenie kuźni w odpowiednie środki techniczne, przedewszystkiem zaś w prasy pozwalające stosować odkuwanie na dorniu;

4° założenie instalacyj, niezbędnych do wykonywania samowzmacniania rur sposobem hydraulicznym (autofrettage).

Prócz tego pamiętać należy, iż do dziś dnia pozostaje jeszcze nierozwiązaną kwestja wyboru najlepszego gatunku metalu z punktu

42) Mjr. Maurin: „A. L. V. F. — Autofrettage" — Cours Supérieur Technique de l'Artillerie 1926, str. 75.

widzenia zjawisk, zachodzących w czasie służby lufy; w tym względzie stwierdzić trzeba, iż próby metalu, przeznaczonego na lufy działowe, dokonywane były dotąd zawsze przy temperaturze normalnej laboratorjum wytrzymałościowego; przypuszczać więc można, iż do pewnego stopnia artylerja popełnia tu tę samą niekonsekwencję, co i wogóle technika, o czem prof. Feszczenko-Czopiwski wyraża się w sposób następujący: „Badania materjałów metalicznych przyjęto dokonywać w tak zwanych temperaturach pokojowych; ogólna ta umowa jednakże daje często powód do fatalnych i zupełnie fałszywych wniosków o mechanicznych właściwościach metalu w temperaturach jego codziennej służby" [43]); tymczasem, jak wskazują doświadczenia [44]), zjawiska cieplne powstające przy strzale stwarzają taki stan rzeczy, iż temperatura „pokojowa" nie jest bynajmniej temperaturą „codziennej służby" metalu lufy zwłaszcza w jego warstwach, sąsiadujących bezpośrednio z komorą ładunkową i ze stożkiem przejściowym, a więc w warstwach, w których powstają przy strzale największe naprężenia, i które pracują wobec tego w warunkach najbardziej niekorzystnych. Wynika z tego, iż sprawa wpływu ciepła, powstającego przy strzale, na lufy działowe w całokształcie swym nie jest dostatecznie zbadaną i docenianą. Na sprawę zmian własności mechanicznych metalu lufy pod wpływem zjawisk cieplnych zwracano dotąd bardzo mało uwagi; koniecznem jest przy poszukiwaniu najlepszego metalu na lufy dokonywać odnośnych prób przy temperaturze od 0° do 500° C (ze specjalnem zwróceniem uwagi na zmiany te w granicach 100—200°), celem wyprowadzenia odnośnych wniosków w związku z zużywalnością i wytrzymałością lufy, rozszerzając te badania na własności metalu po zimnej obróbce ze względu na budowę luf samowzmocnionych. Prócz tego, zjawiska cieplne wpływają bardzo ujemnie na wytrzymałość podłużną luf złożonych, która i bez tego jest w wielu wypadkach bardzo problematyczną; pod wpływem tych zjawisk (łącznie z wpływami bezwładności, połączenia z łożem i t. d.), mogą powstawać naprężenia, które często nie były brane pod uwagę przez projektodawców tych dział — i z tego jeszcze punktu widzenia rozwiązanie najbardziej logiczne i najbardziej pewne polegać będzie na zmniejszeniu ilości elementów lufy, — a nawet każdorazowo, gdy wymagania hutnictwa i obróbki będą na to pozwalały,

---

[43]) Przegląd Techniczny Nr. 27—28, r. 1926, str. 415

[44]) Inż. en chef Paquelier; „De l'influence de la chaleur sur la résistance des bouches à feu" — Mémorial de l'artilerie française — r. 1924, str. 798 (p. również Przegl. Artyl. Nr. 1 styczeń, r. 1928, str. 50, wzgl. Biblj. Przegl. Artyl. Nr. 5, str. 228).

— na budowanie luf z jednego lub dwóch kawałków sposobem samowzmacniania.

Stosunkowo bardziej zbadana jest kwestja przepalania luf przynajmniej w tem, co dotyczy przebiegu samego zjawiska i skutków takowego, choć co do właściwych przyczyn różni uczeni wypowiadają różne teorje; przepalanie nie stwarza bezpośredniego niebezpieczeństwa dla wytrzymałości luf i należy do zjawisk normalnego zużywania się lufy, które, jakkolwiek mogą być opóźnione przez należyte zabiegi, dotyczące utrzymania sprzętu, są jednak nieuniknione, a ponieważ niszczą tylko metal, okalający kształty wewnętrzne lufy, czynią racjonalnem najszersze zastosowanie koszulek wymiennych; zresztą wpływ poszczególnych składników na odporność przeciw przepalaniu również nie może być uważany za dostatecznie wyjaśniony, co również musi być brane pod uwagę przy poszukiwaniu najlepszego metalu na lufy.

W każdym bądź razie wydaje się, iż przyszłość — niezależnie od rodzaju metalu — winna należeć do luf samowzmocnionych z koszulkami wymiennemi, które to dwa wynalazki należy uznać za najdonioślejsze w ostatnich latach rozwoju techniki luf działowych.

Literatura.

1. Oficjalne francuskie warunki techniczne na wyrób luf a. p. 75 mm wz. 1897.
2. ing. gén. de l'artillerie navale Jacob — Résistance et construction des bouches à feu (1920).
3. ppłk. Velten — Conférences faites aux contrôleurs d'artillerie (1923—1924).
4. ing. en chef de l'artillerie navale Métin — Note au sujet des inclusions sableuses dans les aciers à canons (1923).
5. Baboszin — Termiczeskaja obrabotka — Moskwa — Orgametałł (1926).
6. Jakowlew — Wlijanie powyszennych tiempieratur na mechaniczeskije kaczestwa orudijnago mietałła (1927).
7. Ing. en chef de l'artillerie navale Paquelier — De l'influence de la chaleur sur la résistance des bouches à feu (1924).
8. Ing. en chef de l'art. navale Paquelier — Usure des canons (1922).
9. Ing. en chef de l'art. navale Mercey — Les conditions de fabrication et de recette des éléments de canons de l'art. navale (1923).
10. Prof. Charpy — Les conditions de fabrication et de recette des éléments de canons de l'artillerie navale (1924).
11. Ing. en chef R. Caillol — Forgeage de l'acier; considérations sur la pénétration des effets de forgeage et sur l'hétérogénéité de l'acier forgé (1928).
12. płk. Regnault — Métallurgie au point de vue de l'artillerie (1913/1919).
13. Ing. en chef de l'art. navale Malaval — Mémoire sur les propriétés mécaniques des métaux (1922).
14. Ing. gén. de l'art. navale Malaval — Note sur un programme d'études sur les aciers à canons (1929).
15. Kursy: Ecole Centrale des Arts et Manufactures w Paryżu (1910).
    Ecole Militaire de l'artillerie w Fontainebleau (1912 i 1923).
    Ecole d'application de l'artillerie navale (1912).
    Cours supérieur Technique de l'artillerie (1926).

669.14:623.4

Inż. KRAUZE LEONARD.

STAL NIERDZEWIEJĄCA W WYROBIE BRONI.

Sprawa zastosowania stali nierdzewiejącej do tych części materjału uzbrojeniowego, który silnie narażony jest na korozję, nie dającą się zapobiec innemi, bardziej prostemi środkami, jak czernienie, lakierowanie i t. p., jest obecnie, bez wątpienia, tematem intensywnych prac badawczych we wszystkich armjach nowoczesnych.

Oczywiście, wyniki tych badań — o ile są zachęcające i dają wyraźne polepszenie trwałości i odporności sprzętu uzbrojeniowego — są utrzymywane w tajemnicy i tylko gdzie niegdzie można spotkać w literaturze fachowej, przeważnie zresztą nie wojskowej, pewne wzmianki o wynikach prób, czynionych tu i owdzie. Mamy właśnie do zanotowania kilka takich prób, przeprowadzonych w Ameryce i w Anglji. Aczkolwiek nasze warunki geograficzne nie zachęcają do wprowadzenia do uzbrojenia tworzyw, zawierających taki składnik, jak chrom — składnik podstawowy stali nierdzewiejących — nie należący do surowców krajowych, tem niemniej i my powinniśmy bliżej również zapoznać się z tem, co na tem polu już zrobiono, zwłaszcza, że sama wytwórczość stali nierdzewiejących nie jest dla naszego przemysłu hutniczego czemś arcy-nowem i arcy-trudnem. W pawilonie ciężkiego przemysłu na Powszechnej Wystawie Krajowej w Poznaniu mieliśmy sposobność oglądać piękne eksponaty przeróżnych typów stali specjalnych, w tej liczbie i nierdzewiejących, produkcji własnej naszych hut górnośląskich, co dowodzi opanowania trudności fabrykacyjnych przez nasze huty.

Oczywiście jednak, przoduje w tej dziedzinie przemysł amerykański i różnorodność typów i gatunków stali nierdzewiejących jest

tam już tak szeroka, że literatura fachowa czyni próby rozklasyfikowania ich na kilka grup zasadniczych: klasę A stali niskowęglistych (poniżej 0,4% C) i zawierających poniżej 14% Cr; klasę B stali również niskowęglistych (poniżej 0,4% C) i bogatszych w chrom (powyżej 16% Cr), wreszcie klasę C o większych zawartościach chromu i niklu — zwykle na 2Cr—1Ni, o budowie austenitycznej.

Jak widać z powyższego zestawienia Ameryka produkuje wszelkie odcienie stali nierdzewiejących, tak, że dla danego ściśle określonego celu można zawsze dobrać typ stali, zadawalający zarówno pod względem odporności na rdzewienie lub działanie kwasów, wysokich temperatur i t. p., jak również dostatecznie łatwo obrabialny, wytrzymały, ciągliwy, odporny na uderzenia lub wstrząsy i t. p.

Mniej, oczywiście, rozwinięta jest wytwórczość stali nierdzewiejących na kontynencie Europy, jednak i tutaj przemysł hutniczy może sprostać bardziej rozpowszechnionym wymaganiom.

W dziedzinie tych więc typów stali bez wątpienia wojskowość może znaleźć wszystko, co jej dla danego określonego celu będzie odpowiednie. Pierwszym przeto przedmiotem, do którego zastosowanie stali nierdzewiejącej wprost narzuca się, jest lufa.

Pierwszą wzmiankę o próbach zastosowania stali nierdzewiejącej na wyrób luf spotykamy w pracy majora armji japońskiej M. Okochi w Journal of the College of Engin. Tokyo Imperial University w r. 1919.

Na podstawie szeregu prób z lufami kb. z różnych materjałów mjr. Okochi dochodzi do wniosku, że użyta przez niego stal nierdzewiejąca zapewnia znacznie dłuższy żywot lufie k. m., dzięki wysokim właściwościom mechanicznym, niż stal węglista.

Bardziej wyczerpujące sprawozdanie o badaniach nad przydatnością różnych typów stali, między niemi kilku rodzai stali nierdzewiejących do wyrobu luf armatnich, mamy w raporcie laboratorjum badawczego arsenału w Woolwich p. t. „The erosion of Guns", opublikowanym przez pp. R. H. Graeves, H. H. Abram i S. H. Rees w Journal of the Iron and Steel Institute (CXIX, 1929, str. 113).

Punktem wyjściowym tej pracy były liczne obserwacje przepalonych luf armatnich, drobiazgowe badania miejsc przepalonych i popękanych, dokładne przestudjowanie metalograficzne powierzchni przepalonych oraz teoretyczne rozważania procesów, zachodzących w komorze nabojowej i lufie działa. Ponieważ powszechny niemal pogląd badaczy dawniejszych, poczynając od Osmonda i Czernowa, a kończąc na nowoczesnych obserwacjach, jak Świesznikow, Gra-

ziani, Wheeler i in. przypisuje najważniejszą rolę erozji luf chemicznemu działaniu gazów wybuchowych przy wysokiej temperaturze, wywołanej ciepłem spalania ładunku, przeto najskuteczniejszą obroną przed tego rodzaju korrozyjnem działaniem chemicznem byłoby właśnie użycie na lufę stali nierdzewiejącej. W celu dokładnego wyświetlenia tej sprawy zostały w arsenale w Woolwich przeprowadzone systematyczne próby w ten sposób, że poddano działaniu gazów wybuchowych, powstających przy strzale, lejki o wąskich przewodach 10,5 i 2 mm, sporządzone z najrozmaitszych materjałów. Pomiędzy materjałami, wziętemi do tych doświadczeń, znajdują się następujące typy stali nierdzewiejących:

1. 0,43% C, 12,37% Cr, 0,13% Si, 0,20% Mn, 0,20% Ni.

2. 0,13% C, 12,40% Cr, 0,15% Si, 0,21 Mn, 0,20% Ni, obydwie odpowiadają klasie A według klasyfikacji amer.

3. 0,23% C, 17,9% Cr, 0,11% Si, 0,15% Mn, 2,04% Ni odpowiada klasie B.

4. 0,15% C, 19,8% Cr, 7,8% Ni, 0,16% Si, 0,11% Mn — austeniczna — odpowiada klasie C.

5. 0,37% C, 11,0% Cr, 35,6% Ni, 0,11% Si, 1,30% Mn — austeniczna — nie mieści się w ramach klasyfikacji amerykańskiej.

Ze stali tych, jako też i innych materjałów sporządzone były lejki z przewodami wskazanych wyżej średnic; lejki ze stali Nr. 1 były hartowane w oleju i odpuszczane do twardości 255° Brinella, zaś z pozostałych stali wytoczone z prętów bez obróbki termicznej; twardość ich wynosiła kolejno: Nr. 2 — 202°, Nr. 3 — 296°, Nr. 4 — 171°, Nr. 5 — 216° Brinella. Lejki umieszczono w specjalnie skonstruowanej komorze wybuchowej o wymierzonej pojemności, zaopatrzonej w aparat kreszerowy i urządzenie elektryczne do zapalania, umieszczone w komorze nabojowej. Przed doświadczeniem lejki ważono, ważono je również po jednym lub serji kilku lub kilkunastu strzałów z ładunków o znanej sile (materjał wybuchowy: kordyt M. D. 2¼); urządzenie kreszerowe pozwalało na mierzenie ciśnień, panujących w komorze w czasie strzału, stosowano je różne od 200 do 2500 atmosfer zgórą. Gazy wybuchowe wydostawały się nazewnątrz przez przewód lejka, wywierając nań swoiste działanie, pod wieloma względami zbliżone do działania gazów na przewód lufy, pola lub brózdy gwintów.

Systematyczne przeprowadzenie prób pozwoliło na ustalenie pewnych zależności między materjałem lejka, a ciśnieniem, wielkością ładunku, pojemnością komory i innemi czynnikami, które na cha-

rakter obserwowanego zjawiska mogły wywierać wyraźny wpływ. Strata ciężaru lejka po strzelaniu z uwzględnieniem tych właśnie czynników towarzyszących doświadczeniu okazała się w dość wyraźnym stopniu zależną od natury materjału: mianowicie uzyskane w ten sposób liczby „względnego wypalania" wykazały, że wypalanie to jest tem silniejsze, im niższą jest temperatura topliwości danego metalu, jak to widać z poniższego zestawienia:

Materjał	Wypalenie względne	Temperatura topliwości
Żelazo czyste „Armco"	4,0	1530°
Stal miękka 0,16% C	4,0	1500°
Stal półtwarda 0,4% C	4,5	1475°
Nikiel czysty	7,0	1452°
Stal nierdzewiejąca Nr. 1	9,0	± 1490°
„ „ Nr. 2	9,0	
„ „ Nr. 3	10,0	
„ „ Nr. 4	11,0	± 1450°
„ „ Nr. 5	10,5	
Monel	13,0	1360°
Miedź	15,0	1084°
Mosiądz 70 30	23,0	940°

Skrupulatne badanie metalograficzne przepalonych lejków w zupełności potwierdziło tezę, że chemiczne działanie korrozyjne ma znaczenie zupełnie podrzędne — co wyraźnie zostało ujawnione w lejkach z żelaza czystego, niklu i miedzi, natomiast pierwszorzędne znaczenie ma wysoka temperatura, panująca w komorze w chwili wybuchu, krótkotrwała wprawdzie, gdyż wytworzone ciepło szybko zostaje odprowadzone przez masy metalu ścianek, dostateczna jednak, aby cienka powierzchniowa powłoka ścianek została stopiona i stopiony metal gwałtownym strumieniem gazów wyrzucony nazewnątrz — osiadając na przewodzie i wokoło wylotu przewodu.

Wniosek, jaki autorzy z tej serji doświadczeń wysuwają jest ten, że ponieważ kardynalnym czynnikiem powodującym wypalanie luf armatnich — zastrzegając się wyraźnie, że w lufach broni małokalibrowej zachodzą procesy nieco innego charakteru, więc wnioski ich nie dadzą się bezpośrednio do luf małokalibrowych zastosować — jest bardzo wysoka temperatura, panująca w komorze w czasie strzału, nie widzą środków metalurgicznych dla opanowania zniszczenia.

Innemi słowy, ponieważ najwyższą odporność na wypalanie wykazuje czyste żelazo, które z racji swych słabych własności mechanicznych (wytrzymałość na rozerwanie R = 33 kg/mm², granica plastyczności Q = 18,8 kg/mm², twardość 109° Brinella) zupełnie nie nadaje się na wyrób lufy armatniej, wszelkie stale stopowe o lepszych cechach mechanicznych, posiadające jednak niższą temperaturę topliwości wykazywać będą mniejszą odporność na wypalanie. Tym samym i stale nierdzewiejące stają w rzędzie innych stali stopowych, ustępujących pod względem odporności na wypalanie zwykłej węglistej stali armatniej (wypalanie względne około 4,5).

Nie przesądzając, jakie opinje wyrażą o tej serji doświadczeń arsenału w Woolwich inni badacze — narazie bowiem w dyskusji, wszczętej nad powyższym raportem na terenie Iron and Steel Institute nie można było zauważyć jakichkolwiek poważnych prób zakwestjonowania postawionej wyżej tezy — wprowadzenie do wyrobu luf armatnich stali nierdzewiejących nie wydaje się potwierdzać tych wielkich nadziei, jakie w nich pokładano.

Podobnie pesymistycznie wypada relacja z innego źródła, mianowicie z pracowni doświadczalnej zbrojowni w Springfield, rządowej wytwórni broni małokalibrowej w Stanach Zjednoczonych Ameryki.

Zadanie, jakie postawiła sobie zbrojownia Springfieldska, było następujące: 1) wybrać typ stali nierdzewiejącej, najbardziej nadający się do wyrobu lufy kb, 2) stwierdzić stopień odporności na rdzewienie wybranej stali i 3) zbadać w jakim stopniu lufy, wykonane z wybranego typu stali nierdzewiejącej, odpowiadają wymaganiom co do celności i zachowania tej celności po długotrwałem użyciu. Poddano próbom około 80 gatunków stali i żelaza nierdzewiejącego, nadesłanych zbrojowni przez różnych wytwórców; odporność na rdzewienie znacznej ich większości była bardzo dobra, jednak natknięto się na poważne trudności przy obróbce mechanicznej.

Operacje mechaniczne przy seryjnym wyrobie luf kb. wymagają, jak wiadomo, bardzo precyzyjnej dokładności i staranności wykonania. Nawet najprostsza z tych operacyj, obtaczanie — pomimo zachęcających zapewnień wytwórców — nie mogła być wykonana tak łatwo, jak wymaga tego seryjność produkcji. Nawet „żelazo nierdzewiejące" — typ stali, odpowiadającej klasie A, które powinno obrabiać się wcale nie gorzej od zwykłych typów stali stopowych, nastręczyło bardzo wiele trudności przy przewiercaniu ,gwintowaniu i wygładzaniu. Z pośród próbowanych typów zatrzymano się wreszcie

przy stali o zawartości 0,09 do 0,11% C i 11,0 do 14,0% Cr, która stawiała najmniejsze stosunkowo trudności przy wyrobie z nich luf, aczkolwiek i tutaj, trudności te rosły wraz z długością lufy. Najłatwiej stosunkowo można było wykonać lufy dla pistoletów automatycznych kal. 0,45", aczkolwiek i tutaj dużo trudu pochłonęło wypracowanie zadawalających warunków obróbki mechanicznej. Wbrew bowiem wskazówkom wytwórni, zalecającej obróbkę po zahartowaniu i odpuszczeniu do wskazanej temperatury, wypadło surówki odpuszczać całkowicie, wytaczać do wymaganego profilu, hartować następnie z bardzo słabem odpuszczeniem i dopiero w takim zhartowanym prawie stanie przeprowadzać wiercenie, brózdowanie i t. p. i dopiero teraz odpuszczać do 1100° dla nadania należytych własności i wykonania reszty operacyj końcowych.

Jak widać, procedura przeciwna tej, jaką normalnie stosuje się przy wyrobie luf, gdzie wszystkie czynności mechaniczne przeprowadza się po ukończonej obróbce termicznej. O ile taka, jak wskazano wyżej, procedura okazała się możliwa dla luf krótkich, o tyle przy wyrobie luf długich nieuniknionem jest krzywienie się ich przy obróbce termicznej — końcowej.

Po opanowaniu tych trudności wykonano około 2000 luf pistoletowych i obecnie produkcja ta nie natrafia na żadne przeszkody co do terminowego i dokładnego ich wykonania. Zdobyte przy wyrobie tych 2000 luf doświadczenie wykazało, że koszt produkcji tych luf wyższy jest co najmniej o 60% od kosztów produkcji luf ze zwykłej stali (2,31 dolarów wobec 1,47 dol.). Wzrost tych kosztów wywołany jest, jak można w przybliżeniu sądzić, w 20% trudnością samej obróbki, a w 80% zużyciem narzędzi.

Poza próbami zastosowania stali nierdzewiejącej na lufy krótkie wykonano nieliczne tylko próby wykonania luf dłuższych do różnych typów k. m. i broni myśliwskiej; próby te w zupełności potwierdziły powyższą kalkulację i ten podniesiony wyżej fakt, że wzrost długości lufy i zmniejszenie jej kalibru utrudnia niepomiernie jej wyrób.

Badanie tak wykonanych luf na ich odporność na rdzewienie prowadzono dwoma sposobami: sposobem laboratoryjnym przez opryskiwanie w ciągu 24 godzin nasyconym roztworem soli płytek stalowych polerowanych i sposobem praktycznym przez próbowanie gotowych luf. W tym celu oddawano z badanej lufy serję strzałów normalną amunicją i nie czyszcząc jej poddawano działaniu pary w zamkniętej komorze. Parę przepuszczano, aż do pojawienia się ściekających z luf kropel wody, poczem lufy wystawiano na powietrze, aż

do zupełnego wyschnięcia i całą procedurę powtarzano 3-krotnie, w ciągu 2-ch dni z przerwami co najmniej 3-godzinnemi po każdej operacji. Dopiero po 2-krotnem przeprowadzeniu całej serji wymienionych czynności, po 16-godzinnem wystawieniu na otwartem powietrzu lufy czyszczono i badano. Pierwsza próba laboratoryjna — wykazała bezwzględną wyższość stali nierdzewiejącej; druga natomiast dała również dla stali nierdzewiejącej dobre rezultaty, nie tak jednak wybitne, jak się tego spodziewano: lufy ze zwykłej stali pokrywały się rdzą już po pierwszem „parowaniu", wówczas gdy plamki rdzy pojawiały się na stali nierdzewiejącej dopiero po 2-iem lub 3-iem „parowaniu", rosnąc szybko już w dalszym ciągu.

Rozbieżność tej próby z próbą laboratoryjną możnaby wytłumaczyć tem, że nawet tak dokładne polerowanie stali, jakie ma miejsce przy wygładzaniu przewodów luf, nie jest w stanie usunąć tych drobnych rys i szczelin, w które przenikają żrące produkty spalenia ładunku, zwłaszcza pod znacznem ciśnieniem w czasie samego strzału.

Celem sprawdzenia wytrzymałości luf ze stali nierdzewiejącej na wypalanie poddano próbom strzelania szereg luf do k. m. kaliber 0,30". Strzelanie prowadzono 3 serjami, po 2000 strzałów, a potem serjami po 1000 strzałów, aż do stwierdzenia pojawienia się skośników, jako dowodu utraty celności przez lufę. Po każdej serji sprawdzano celność i mierzono zmiany w przewodzie. Próbowano lufy z różnych materjałów, a mianowicie: 1 lufa normalnej produkcji (dla porównania), 2 lufy ze stali o składzie: 0,515% C, 8,47% Cr; 1,63% Si; 1 lufa ze stali wolframowej (2.85%W), 3 lufy ze zwykłej stali, których przewód został pokryty warstwą chromu, 3 lufy ze stali nierdzewiejącej, dostarczone przez różne wytwórnie obce. Wyniki strzelania okazały się następujące: 3 lufy produkcji obcej wytrzymały po 10.000 strzałów, lufy ze stali chromo-krzemowej wytrzymały 9 — 11.600 strzałów, lufa wolframowa musiała być odrzucona po 6.600 strzałach z powodu rozdęcia w odległosi 2¼" od wylotu, powstałego jednak, jak wykazały próby, nie z winy materjału. Lufa ze stali zwykłej wytrzymała 10.000 strzałów. Najlepsze jednak wyniki dała lufa nachromowana, która nawet po 20.000 strzałów zachowała całkowicie swoją celność i kaliber w przepisowych wymiarach. Wypalanie tej lufy okazało się bardzo nieznaczne, nie przekraczające pierwszych 2" od strony komory nabojowej i wypalenie to po 20.000 strzałów było niewiele lub może wcale niewiększe od wypalenia zwykłej lufy po 8 — 10.000 strzałów.

Wszystkie wyżej wymienione próby pozwalają zbrojowni w Springfield na postawienie poniższych wniosków:

1) Stal nierdzewiejąca typu, nadającego się do seryjnej produkcji broni, jest bezwarunkowo bardziej odporna na rdzewienie od każdej innej;
2) zastosowanie tej stali na części broni, często zmieniane z powodu zniszczenia ich przez rdzę da duże oszczędności na zużycie tych części.
3) Stal nierdzewiejąca, nadająca się do seryjnej produkcji broni, nie jest bynajmniej więcej odporna na wypalanie, niż inne stale, używane na te części;
4) Koszt wykonania części broni ze stali nierdzewiejącej wzrośnie co najmniej o 50%.

Ogólny stąd wynika wniosek, że tylko tam może mieć rację bytu wprowadzenie stali nierdzewiejącej, gdzie działanie rdzy jest bardziej niszczące, niż wypalanie, a i to o tyle tylko, o ile podwyższenie kosztów produkcji da się usprawiedliwić nadmiernem niszczeniem przez rdzę. Ponieważ, oczywiście, częścią broni najczęściej z racji zużycia wymienianą, jest lufa, a na zachowanie przydatności lufy bez porównania znaczniejszy wpływ ma — zwłaszcza przy kb. maszynowych i automatycznych — wypalanie, niż rdzewienie, przeto zastosowanie stali nierdzewiejących, obecnie przynajmniej produkowanych, nie ma żadnych widoków, nie daje żadnych oszczędności na lufach, podrażając niepomiernie ich produkcję. Co najwyżej w broni krótkiej, gdzie rdzewienie luf, wywołane zwłaszcza silnie źrącemi produktami spalania ładunku, a przedewszystkiem kapiszonu, ma dość znaczny wpływ na rdzewienie lufy, wprowadzenie stali nierdzewiejącej na lufę może się do pewnego stopnia opłacać.

Jak widzimy z powyższego zestawienia obserwacyj, poczynionych nad *najważniejszą częścią broni, jaką jest lufa czy to armatnia czy karabinowa,* — obserwacje te stwierdzają jedno i to samo, że — jak narazie, a może i wogóle — sądząc z wyników pracy w arsenale w Woolwich — *stale nierdzewiejące nie mają widoków zastosowania do niej.*

Do tego należy dodać, że spostrzeżenia uczynione w niektórych fabrykach broni na kontynencie Europy, potwierdziły obserwacje powyższe. Wynalazczość w tej dziedzinie winna być skierowana w inną stronę — a w jaką, wskazują ubocznie wyniki omawianych prac: w kierunku chromowania, molibdenowania lub wolframowania, gdyż pierwiastki te, posiadając bardzo wysokie temperatury topliwości

najbardziej odpowiadają postulatowi, wytkniętemu przez arsenał w Woolwich: *podniesienie jak najwyżej temperatury topliwości metalu. stanowiącego powłokę wewnętrzną przewodu lufy.*

Jako dziedzina zastosowań stali nierdzewiejących w wyrobie broni, pozostają niektóre części broni ręcznej maszynowej, jak np. części narażone na wypalanie gazami wylotowemi i t. p. jednak niszczenie się ich nie jest tak szybkie i szkodliwe dla broni, jak lufy, aby zastosowanie tutaj stali nierdzewiejącej dawało duże plusy. Zabezpieczenie przed rdzewieniem zaś innych części broni może być uzyskane daleko tańszemi i prostszemi środkami, niż użycie na ich wyrób stali nierdzewiejącej. Zapewne, gdyby cena samej stali i koszta związane z jej masową obróbką mechaniczną nie stały na tak rażącej wysokości w porównaniu z typami stali zwykłej, wówczas wykonanie części broni, wymagających stałej konserwacji dla ochrony przed rdzą ze stali nierdzewiejącej, dawałoby większą gwarancję konserwacji broni, zależnej obecnie od sumienności jej posiadacza i dostatecznej kontroli i nadzoru w składnicach broni.

623.421:623.53

Mjr. inż. LUBAŃSKI STANISŁAW.

PROJEKT WSTĘPNY LUFY DZIAŁA ARTYLERYJSKIEGO.

WSTĘP.

Celem niniejszego artykułu jest zaznajomienie czytelników Przeglądu Artyleryjskiego z metodą projektowania dział, przyjętą w Wyższej Szkole Technicznej Artylerji w Paryżu.

Projekt jest oparty na wykładach Balistyki Wewnętrznej, kapitana Seraut, oraz konstrukcji i obliczania luf i oporopowrotników, pułkownika Thomas; przykład liczbowy jest jednym z projektów dział, wykonanych w powyższej Szkole, a dane liczbowe są wzięte z tabel liczbowych Balistyki Wewnętrznej inżyniera artylerji morskiej Sugot.

Zależnie od zasadniczych wymagań taktycznych, oraz względów związanych z łatwością obsługi, możemy ustalić dane wyjściowe, które posłużą nam do obliczeń.

W większości wypadków możemy zadać sobie

kaliber a
ciężar pocisku p
szybkość początkową v_0
najwyższe ciśnienie w przewodzie P_m
długość lufy w kalibrach $\frac{L}{a}$.

Właściwie, zamiast szybkości początkowej v_0, żądania taktyczne określają największą donośność X, co w związku ze spółczynnikiem kształtu pocisku sin γ, — pozwala na zasadzie tablic balistyki zewnętrznej określić potrzebną szybkość początkową v_0.

Dane powyższe nie wystarczają dla zupełnego określenia działa, gdyż można zaprojektować cały szereg dział, które odpowiadałyby tym warunkom; aby usunąć tę nieokreśloność, należy ustalić jeszcze jedną daną dodatkową; taką daną może być

1) minimalny ładunek ω; im mniejszy jest ładunek, tem mniejsze jest zużycie działa, a także tem mniejszy błysk ognia;

2) minimalna objętość komory nabojowej c'; jest to szczególnie ważne przy obliczaniu haubic, aby utrzymać gęstość ładowania w granicach, stosowanych w praktyce;

3) moduł wrażliwości l_A;

4) żywość (vivacité) prochu A; ten ostatni warunek może być wymagany ze względu na istniejące zapasy określonego rodzaju prochu.

Wreszcie, wymagania dotyczące ruchliwości działa w polu, mogą narzucić warunek nieprzekroczenia pewnego ciężaru, oraz zasadniczych wymiarów łoża.

ROZDZIAŁ 1.

Obliczenie wewnętrznego profilu lufy.

Przypuśćmy, że należy obliczyć działo, dla którego dane są:

kaliber $a = 77$ mm,
szybkość początkowa $v_0 = 600$ m/sek,
ciężar pocisku $p = 7$ kg,
najwyższe ciśnienie w przewodzie $P_m = 2500$ $kg:cm^2$
długość lufy w kalibrach $\frac{L}{a} = 37$,
moduł wrażliwości $l_A = 0{,}20$.

Jeżeli zadamy sobie stosunek rozprężenia ρ i wybierzemy gęstość ładowania Δ, aby otrzymać przy strzelaniu przepisaną szybkość początkową v_0, to działo będzie określone.

Z drugiej strony, jeżeli P_m jest znane, to będziemy mieli następujące równania:

$$l_A = f_1(\Delta, \rho) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

$$v_0 = f_2(\Delta, \rho) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

wystarczy więc obliczyć i wykreślić krzywe (1) i (2) w systemie spółrzędnych Δ i ρ; spółrzędne punktu przecięcia tych krzywych dadzą gęstość ładowania Δ i spółczynnik rozprężenia, odpowiadające założonym warunkom.

1. *Objętość całkowita lufy.*

Na początku przyjmiemy chwilowo w przybliżeniu, że lufa ma jednakową średnicę w całej swej długości; odnośne poprawki wprowadzimy w chwili, kiedy wewnętrzny profil lufy zostanie obliczony.

Dostatecznem będzie zlekka zwiększyć średnicę komory prochowej, pozostawiając tę samą znalezioną objętość c'; zmniejszy to nieznacznie długość komory nabojowej, oraz długość całkowitą lufy, lecz nie będzie to miało ujemnego wpływu, ponieważ zadana długość $\frac{L}{a}$ jest zawsze maksymalną.

Całkowitą objętość lufy otrzymamy ze wzoru:

$$C = \frac{\pi \,.\, a^3}{4} \,.\, \frac{L}{a} = \frac{3{,}14 \times 0{,}77^3 \times 37}{4} = 13{,}27 \; dcm^3.$$

2. *Obliczenie krzywej $l_A = f_1\ (\Delta, \rho)$.*

Dla obliczenia tej krzywej przyjmiemy dla spółczynnika rozprężenia ρ wartości 5, 6, 7 i 8, a dla gęstości ładowania Δ — wartości 0,35; 0,45; 0,50; 0,55 i 0,65.

Dla każdego wypadku obliczymy l_A i zbudujemy krzywą $\Delta = \varphi_1\ (l_A)$ (rys. 1) dla każdej wartości ρ; punkty przecięcia tych krzywych z rzędną, odpowiadającą odciętej $l_A = 0{,}20$, pozwalają otrzymać punkty krzywej $l_A = f_1\ (\Delta, \rho)$.

Dla obliczania krzywych $\Delta = \varphi_1\ (l_A)$ użyjemy wzorów:

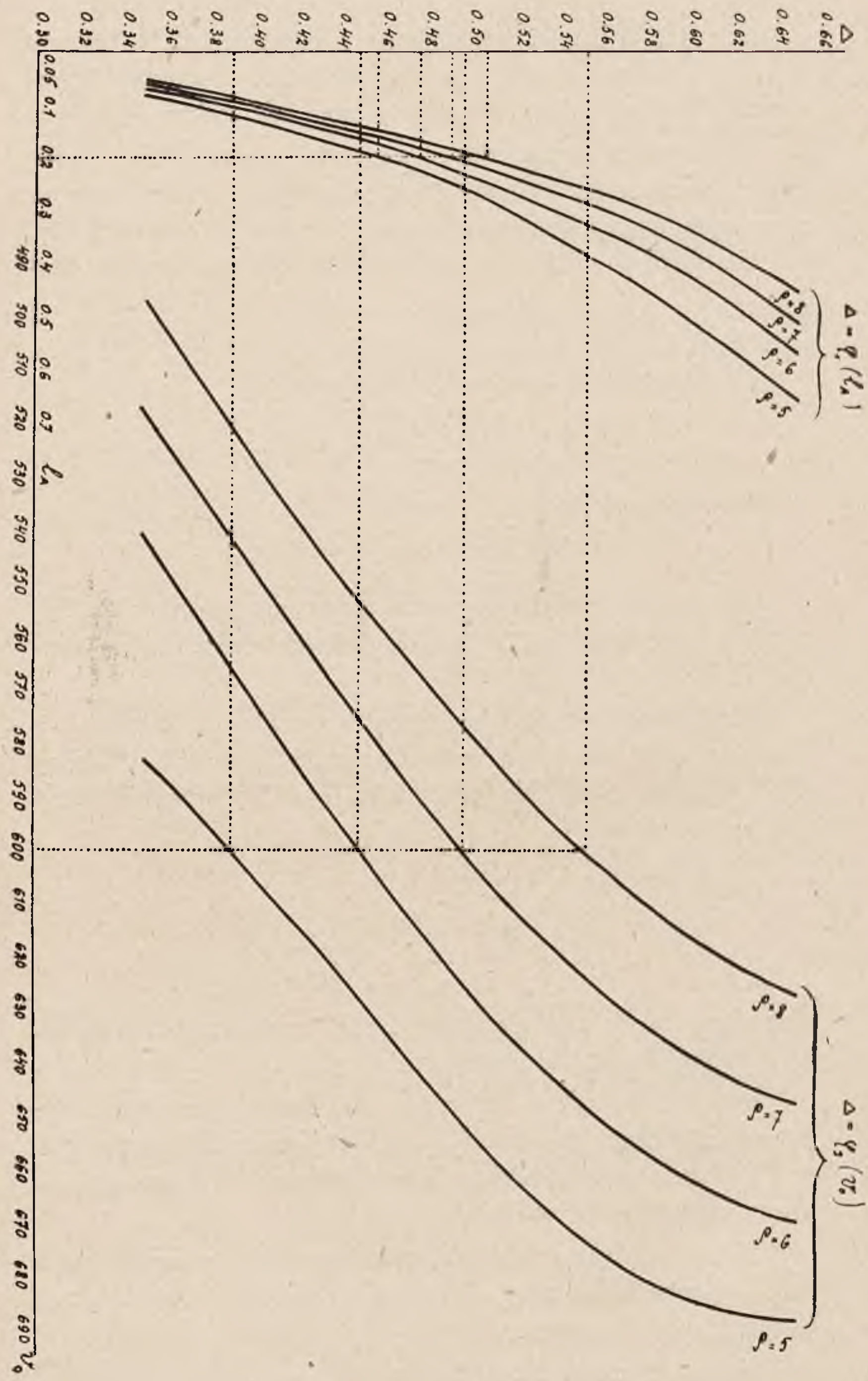
$$r = 1 - M\Gamma \;\text{ i }\; l_A = K_A \left(\frac{1}{r} - 1\right);$$

moduł spalania M, oraz parametry Γ i K_A znajdziemy w odpowiednich tablicach balistyki wewnętrznej.

Jednocześnie należy sprawdzić, czy mamy do czynienia z zupełnem spalaniem, gdyż wzór $r = 1 - M\Gamma$ może być użyty tylko w wypadku spalania zupełnego; jeżeli spalanie jest niezupełne, to należy używać wzoru $r = M'\Gamma'$.

Tablice balistyki wewnętrznej dają parametry ξ w funkcji P_m i Δ oraz ξ_1 (parametr dokładnego spalania) w funkcji ρ i Δ; jeżeli $\xi_1 > \xi$, to spalanie jest niezupełne.

Wyniki obliczenia krzywych $\Delta = \varphi_1\ (l_A)$ są podane w poniższej tablicy, przyczem w wypadku $\rho = 5$ i $\Delta = 0{,}65$ spalanie jest niezupełne.



Rys. 1.

	Δ	0,35	0,45	0,50	0,55	0,65
	K_A	0,045	0,100	0,135	0,175	0,275
	M	1,045	1,102	1,137	1,181	1,305
						$M' = 1,345$
$\rho = 5$	Γ	0,615	0,595	0,584	0,572	$\Gamma' = 0,217$
	r	0,357	0,344	0,336	0,324	0,292
	l_A	0,081	0,191	0,267	0,365	0,656
$\rho = 6$	Γ	0,586	0,566	0,555	0,543	0,516
	r	0,388	0,376	0,369	0,359	0,327
	l_A	0,071	0,166	0,231	0,313	0,566
$\rho = 7$	Γ	0,562	0,543	0,533	0,521	0,495
	r	0,413	0,402	0,394	0,385	0,354
	l_A	0,064	0,149	0,208	0,280	0,502
$\rho = 8$	Γ	0,543	0,524	0,514	0,503	0,477
	r	0,433	0,423	0,416	0,406	0,378
	l_A	0,059	0,136	0,190	0,256	0,452

3. *Obliczenie krzywej* $v_0 = f_2\,(\Delta, \rho)$.

Przy obliczeniu tej krzywej przyjmiemy te same, co poprzednio, wartości spółczynnika rozprężania ρ i gęstości ładowania Δ.

Przy obliczaniu będziemy się posługiwali wzorami:

$$c' = \frac{c}{\rho}; \qquad \omega = \Delta\, c';$$

$$\mu = 1{,}07 \left(1 + \frac{1}{4} \cdot \frac{\omega}{p}\right) \frac{p}{98{,}1};$$

$$v_0 = 276{,}4 \sqrt{\frac{\omega\, r}{\mu}}.$$

Dla każdej wartości ρ obliczymy i zbudujemy krzywą $\Delta = \varphi_2\,(v_0)$ (rys. 1); punkty przecięcia tych krzywych z rzędną, odpowiadającą odciętej $v_0 = 600\ m/s$, pozwalają otrzymać punkty krzywej $v_0 = f_2\,(\Delta, \rho)$.

Wyniki odnośnych obliczeń są podane w poniższej tablicy:

	Δ	0,35	0,45	0,50	0,55	0,65
$\rho = 5$ $c' = 2,654$	ω μ v_0	0,929 0,0789 582,6	1,194 0,0796 627,5	1,327 0,0799 652,7	1,460 0,0803 671,4	1,724 0,0811 686,3
$\rho = 6$ $c' = 2,212$	ω μ v_0	0,774 0,0785 540,6	0.995 0,0791 600,4	1,105 0,0793 626,8	1,215 0,0796 647,0	1,436 0,0802 668,8
$\rho = 7$ $c' = 1,896$	ω μ v_0	0,663 0,0782 517,2	0,852 0,0786 577,0	0,947 0,0789 601,0	1,042 0,0792 622,1	1,231 0,0797 646,3
$\rho = 8$ $c' = 1,659$	ω μ v_0	0,580 0,0780 495,9	0,746 0,0784 554,5	0,829 0,0786 578,5	0,912 0,0789 598,8	1,077 0,0793 626,4

4. *Ustalenie Δ i ρ.*

Mamy w ten sposób dostateczną ilość punktów krzywych $l_A = f_1(\Delta, \rho)$ i $v_0 = f_2(\Delta, \rho)$, co pozwala je zbudować (rys. 2); spółrzędne wspólnego punktu tych krzywych (punkt przecięcia się) dadzą wartości Δ i ρ dla studjowanego działa.

Z wykresu (rys. 2) otrzymujemy;

spółczynnik rozprężenia $\rho = 6,9$;

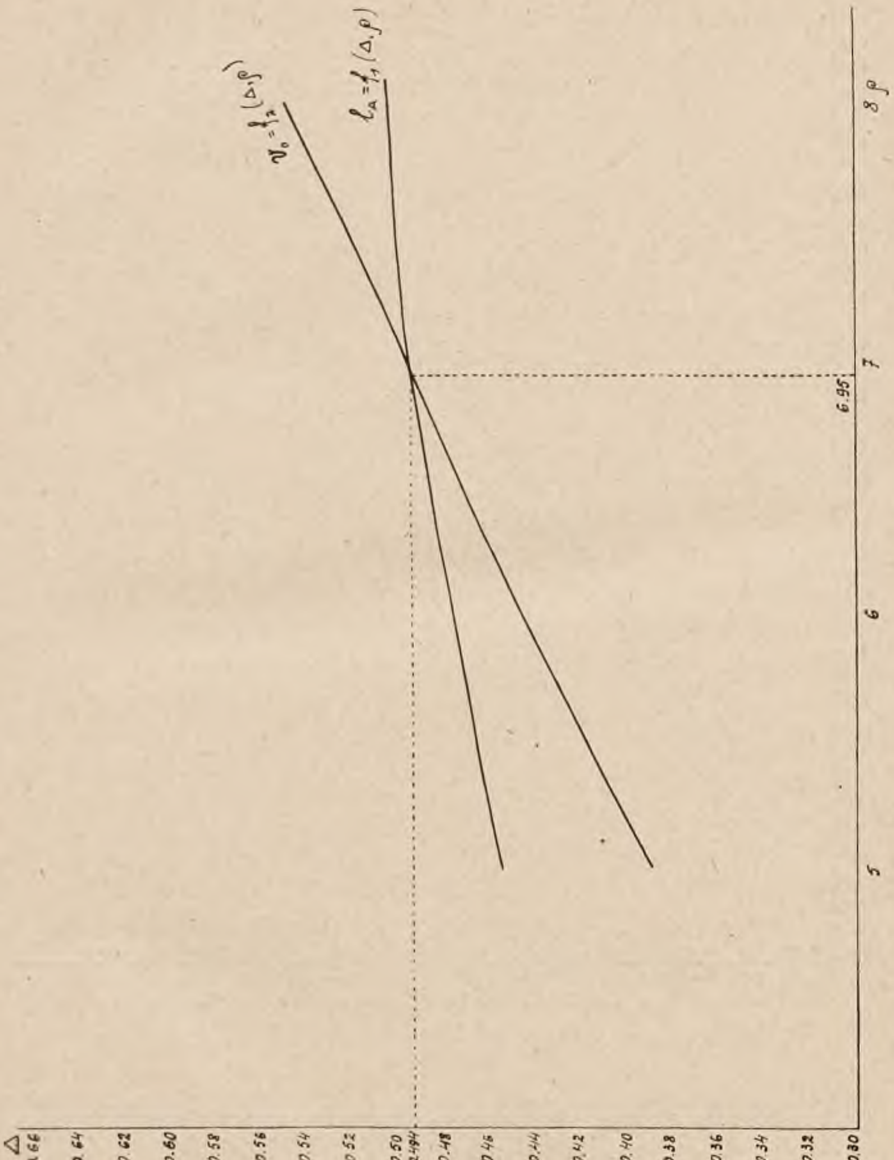
gęstość ładowania $\Delta = 0,49$.

5. *Wartości stałe charakterystyczne dla danego działa.*

Z tablic liczbowych balistyki wewnętrznej możemy obecnie określić przez wypośrodkowanie wszystkie wartości stałe potrzebne do dalszych obliczeń, stałe i odpowiadające założeniu $P_m = 2500$, $\Delta = 0,49$ i $\rho = 6,9$.

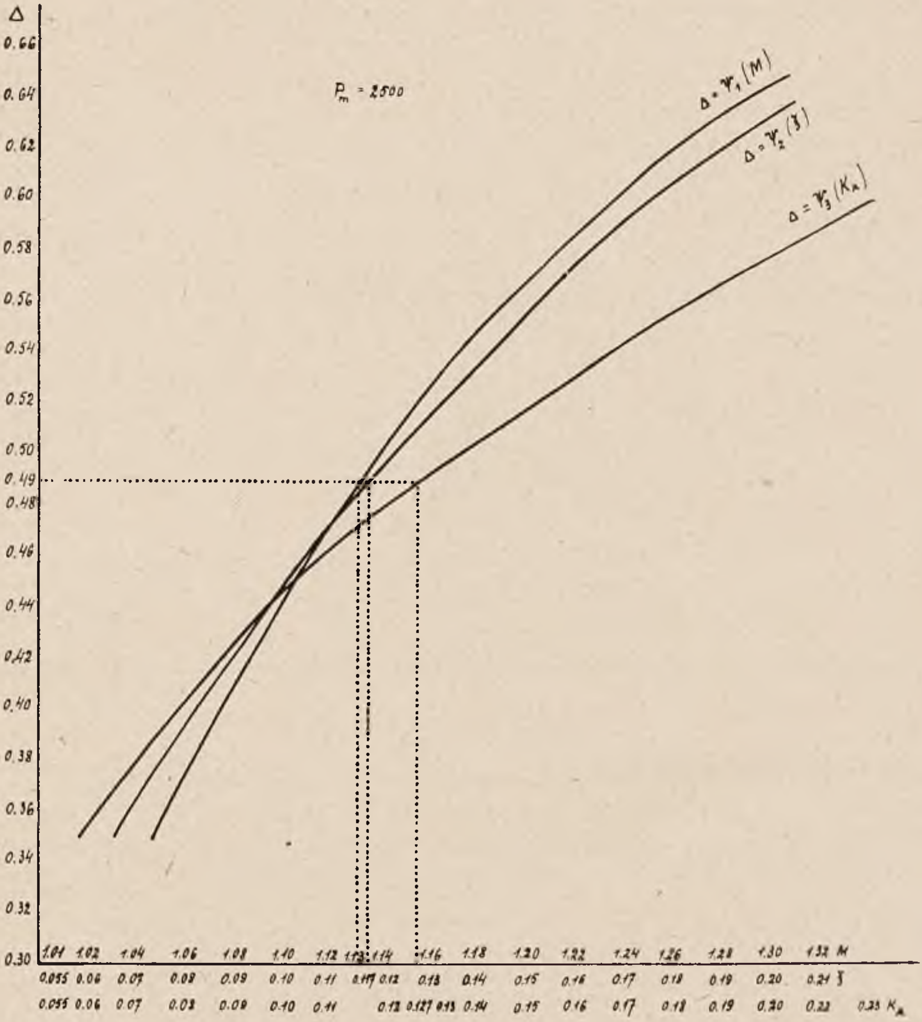
Możemy również znaleźć te dane, wykreślając odpowiednie krzywe i przecinając takowe odciętą, odpowiadającą rzędnej $\Delta = 0,49$.

Na rysunkach 3 i 4 są wykreślone krzywe $\Delta = \psi_1(M)$, $\Delta = \psi_2(\xi)$, $\Delta = \psi_3(K_A)$, $\Delta = \psi_4(P_1)$, $\Delta = \psi_5(\rho_1)$ i $\Delta = \psi_6(\rho_m)$; punkty przecięcia tych krzywych z odciętą, odpowiadającą rzędnej $\Delta = 0,49$ dają nam:



Rys. 2.

moduł spalania $M = 1{,}130$;
parametr $\xi = 0{,}117$;
parametr $K_A = 0{,}127$;
spółczynnik rozprężenia w chwili najwyższego ciśnienia $\rho_m = 1{,}495$;
ciśnienie w chwili zakończenia spalania $P_1 = 1940\ kg{:}cm^2$;
spółczynnik rozprężenia w chwili zakończenia spalania $\rho_1 = 2{,}28$.



Rys. 3.

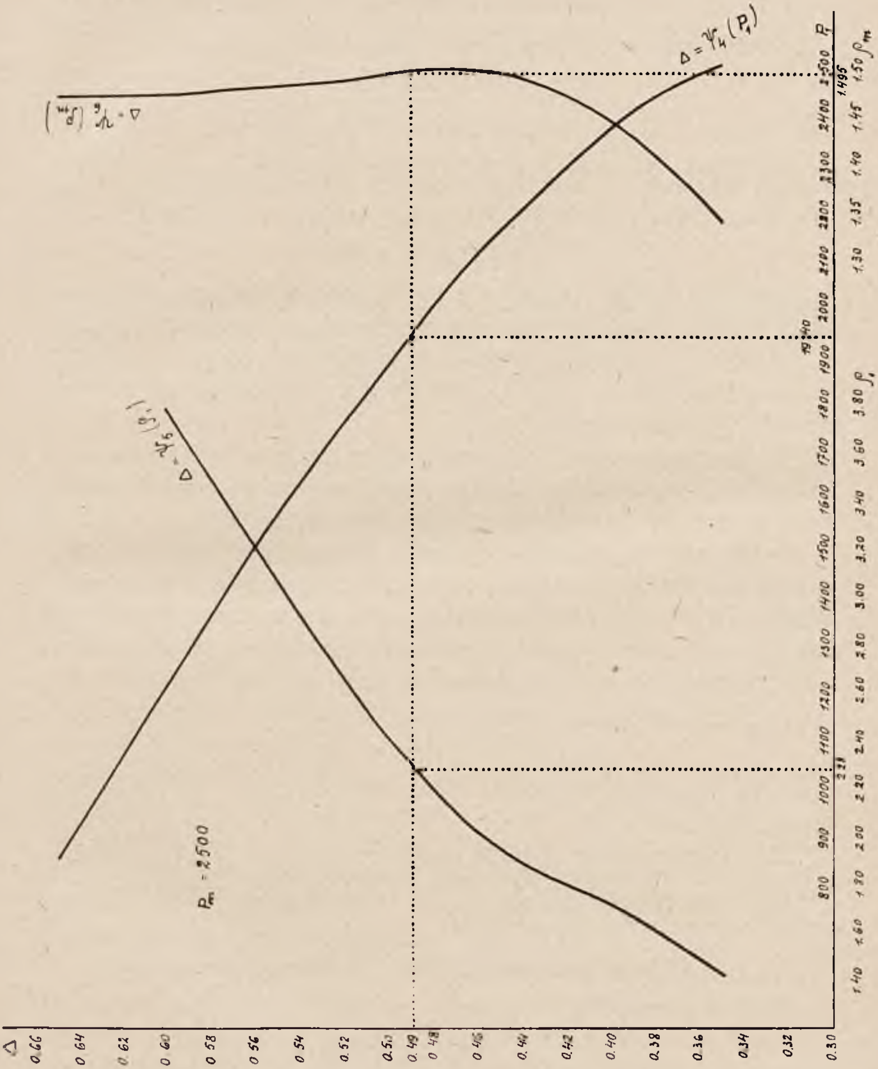
Wreszcie stosując wskazane poprzednio wzory, otrzymamy:

parametr $\Gamma = \left(\frac{1 - 0,95 \times 0,49}{6,9 - 0,95 \times 0,49}\right)^{1/4} = 0,536,$

wydajność $r = 1 - 1,130 \times 0,536 = 0,394,$

moduł wrażliwości $l_A = 0,127 \left(\frac{1}{0,394} - 1\right) = 19,5,$

objętość komory prochowej $c' = \frac{13,27}{6,9} = 1,922 \ dcm^3,$



Rys. 4.

ładunek prochu $\tilde{\omega} = 1{,}922 \times 0{,}49 = 0{,}942\ kg$,

masa fikcyjna pocisku $\mu = 1{,}07 \left(1 + \frac{1}{4} \times \frac{0{,}942}{7}\right) \frac{7}{98{,}1} = 0{,}0789$,

szybkość początkowa $v_0 = 276{,}4 \sqrt{\frac{0{,}942 \times 0{,}394}{0{,}0789}} = 599{,}43\ m/sek.$

6. *Obliczenie żywości (vivacité) i wybór prochu.*

Żywość prochu otrzymujemy ze wzoru

$$A^2 = \frac{0{,}000007402 \,.\, a^4}{\xi \,.\, \omega \left(p + \frac{\omega}{4}\right)};$$

stosując ten wzór do poprzednich danych, otrzymamy

$$\log A = {}^1/_2 (\log 0{,}000007402 + 4 \log 0{,}77 - \log 0{,}117 - \log 0{,}942 -$$
$$- \log 7{,}2355) = \bar{3}{,}256.$$

Żywość prochu, znaleziona z powyższego wzoru, zwykle różni się od żywości tabelarnej; możemy więc postąpić dwojako:

1) polecić fabrykować proch o wymaganej żywości;

2) wybrać proch, którego żywość jest najbardziej zbliżona do żywości obliczonej powyżej.

W większości wypadków drugie rozwiązanie jest wygodniejsze, tembardziej, że żywości tabelarne są tylko średnią wartością żywości rzeczywistej; różnice mogą dochodzić do ± 15%.

Jeżeli różnica pomiędzy żywością znalezioną ze wzoru, a żywością tabelarną jest znaczna, to należy cokolwiek zmienić wyniki obliczeń; a mianowicie, pozostawiamy ten sam spółczynnik rozprężenia ρ i zmieniamy gęstość ładowania.

Potrzebną różnicę otrzymamy ze wzoru

$$\frac{d\,v_0}{v_0} = l_A \frac{d\,A}{A} + l_\omega \frac{d\,\omega}{\omega} = 0;$$

równanie to pozwoli określić $d\,\omega$, a więc i różnicę, niezbędną dla gęstości ładowania Δ.

Dla rozpatrywanego działa wybierzemy proch B S P, którego żywość tabelarna jest $\log A = \bar{3}{,}280$; różnica nie przekroczy 5%, co jest w zupełności dopuszczalne.

7. *Obliczenie krzywej ciśnień i profil wewnętrzny.*

Długość lufy jest

$$L = \frac{L}{a} \,.\, a = 37 \times 77 = 2849 \; mm;$$

przy obliczeniach przyjęliśmy, że przewód lufy w całej swej długości posiada jednakową średnicę.

W nowoczesnych działach przewód ten składa się z komory nabojowej, stożka przejściowego i części gwintowanej, przyczem średnica komory nabojowej jest zawsze większą od średnicy części gwintowanej; stosunek średnic tych waha się zwykle w granicach od 1,04 do 1,25.

Dla rozpatrywanego działa przyjmiemy jako stosunek średnic liczbę 1,05, wobec czego średnica komory nabojowej wyniesie

$$a' = 1{,}05 \times 77 = 80{,}85 \ mm.$$

Ponieważ zachowamy obliczoną uprzednio objętość komory nabojowej, więc długość takowej nieco zmniejszy się, a mianowicie wyniesie obecnie:

$$\frac{1{,}922 \times 4}{0{,}8085^2 \times 3{,}14} = 374 \ mm$$

a więc z powodu zwiększenia średnicy komory nabojowej, musimy zmniejszyć długość takowej o 39 *mm*, aby zachować tę samą objętość; w ten sposób całkowita długość lufy wyniesie

$$2849 - 39 = 2810 \ mm.$$

Jeżeli przyjmiemy, że długość stożka przejściowego równa się połowie kalibru, to długość części gwintowanej będzie

$$2810 - 374 - 38{,}5 = 2397{,}5 \ mm.$$

Przy obliczaniu odciętych krzywej ciśnień przyjmiemy, że stożek przejściowy ma w całej swej długości jednakową średnicę, równą średnicy części gwintowanej; popełnimy przez to bardzo nieznaczny błąd, natomiast znacznie uprościmy obliczenie.

Przyjmiemy również, że pocisk wystaje z komory nabojowej na długość równą połowie kalibru.

Przystąpimy teraz do obliczenia i wykreślenia krzywej ciśnień (rys. 5).

Krzywą ciśnień otrzymamy, odkładając na osi rzędnych ciśnienia, a na osi odciętych długości, odpowiadajace punktowi, w którym pocisk znajduje się w odnośnej chwili (właściwie powinniśmy przyjmować położenie dna pocisku).

Pocisk zostaje ruszony z miejsca w chwili, kiedy w komorze nabojowej rozwinie się ciśnienie, zwane ciśnieniem przesilenia (forcement), i które w działach polowych jest równe około 400 kg/cm^2.

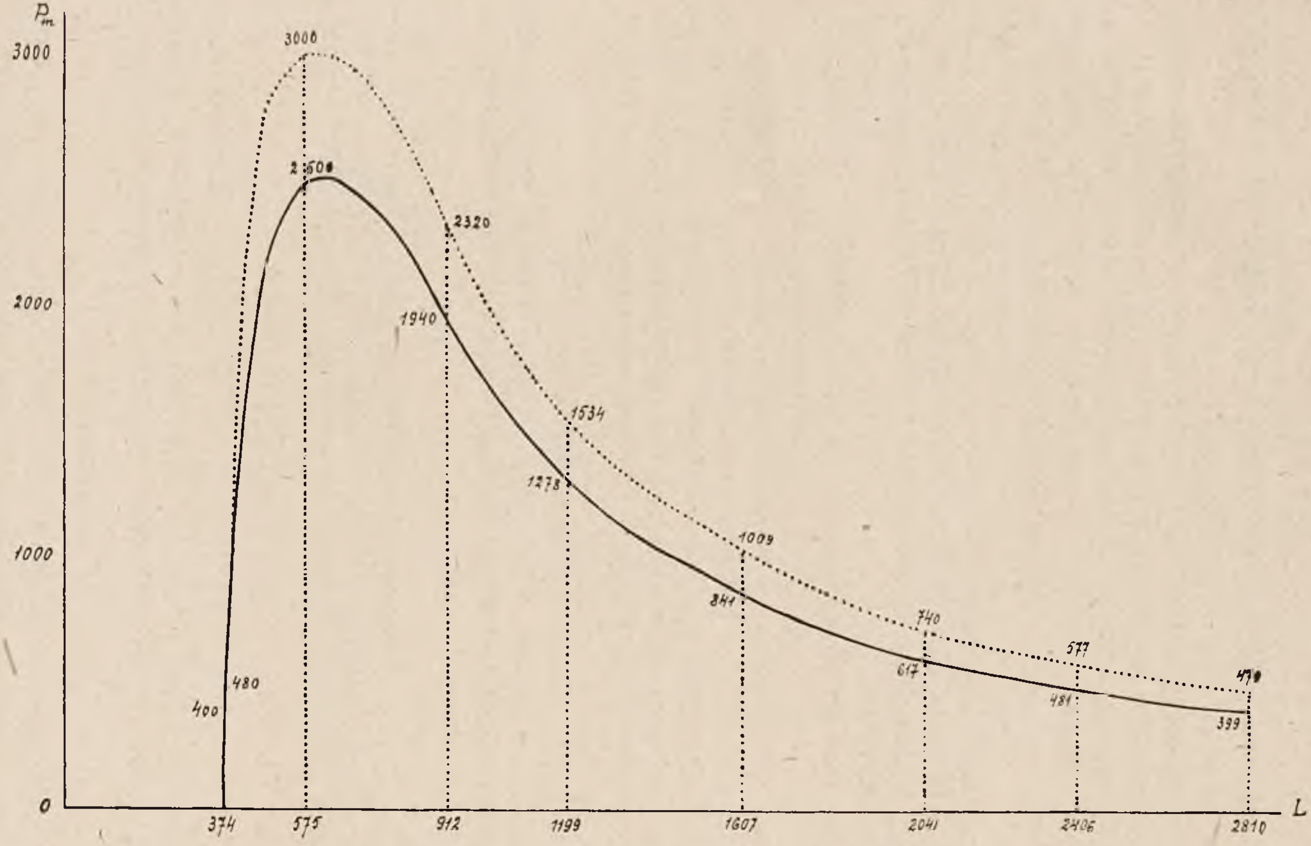
Pierwszy więc punkt krzywej ciśnień będzie odpowiadał ciśnieniu przesilenia

$$P_0 = 400 \ kg\ cm^2,$$

jako odciętą tego punktu przyjmiemy długość komory nabojowej

$$x_0 = 374 \ mm,$$

określamy następnie punkt krzywej, odpowiadający najwyższemu ciśnieniu w przewodzie



P_m
3000
2000
1000
0
3000
2500
2320
1940
1534
1278
1009
841
740
617
577
481
479
399
480
400
374
575
912
1199
1607
2041
2406
2810
L

Rys. 5.

$$P_m = 2500 \ kg/cm^2;$$

aby otrzymać odpowiednią odciętą, obliczymy całkowitą objętość zajmowaną przez gazy w chwili, gdy zachodzi to najwyższe ciśnienie, — w tym celu posługujemy się wzorem

$$c_m = c' \cdot \rho_m = 1{,}922 \times 1{,}495 = 2{,}873 \ dcm^3.$$

Przy obliczaniu odciętej przyjmiemy pod uwagę, że średnica komory nabojowej jest większą od kalibru działa; ażeby więc otrzymać długość odciętej, należy zmniejszyć o 39 *mm* wartość, otrzymaną z obliczenia.

Będziemy mieli więc

$$x_m = \frac{2873 \times 4}{3{,}14 \times 77^2} - 39 = 575 \ mm.$$

Wreszcie określamy trzeci punkt krzywej, a mianowicie punkt odpowiadający zakończeniu spalania prochu; poprzednio znaleźliśmy, że w odnośnej chwili ciśnienie wynosi $P_1 = 1940 \ kg/cm^2$, zaś spółczynnik rozprężenia $\rho_1 = 2{,}28$.

Odnośna objętość będzie

$$c_1 = 1{,}922 \times 2{,}28 = 4{,}382 \ dcm^3,$$

odcięta zaś

$$x_1 = \frac{4382 \times 4}{3{,}14 \times 77^2} - 39 = 912 \ mm.$$

Dalsze punkty krzywej znajdujemy, przyjmując dla spółczynnika rozprężenia ρ wartości 3, 4, 5, 6 i 6,9 (u wylotu); ze wzoru $c = c'\rho$ znajdujemy odpowiednie objętości, co nam daje możność obliczyć odcięte.

Ciśnienie w każdym punkcie określamy na zasadzie wzoru

$$P = P_1 \left(\frac{\rho_1 - 0{,}95\,\Delta}{\rho - 0{,}95\,\Delta} \right)^{5/4}.$$

Wyniki obliczeń tych podane są w poniższej tabliczce

ρ	$c \ dcm^3$	$x \ mm$	$P \ kg/cm^2$
3	5,766	1199	1278
4	7,688	1607	841
5	9,610	2041	617
6	11,532	2406	481
6,9	13,270	2810	399

Prawo rozwoju ciśnień od punktu P_0 do punktu P_1 nie jest dokładnie znane; dalej krzywa ciśnień jest adjabatyczną.

ROZDZIAŁ II.

Obliczenie wymiarów lufy*).

1. *Krzywa ciśnień.*

Wszystkie rzędne krzywej ciśnień, otrzymanej poprzednio powiększymy o 20%**); nowa krzywa ciśnień, otrzymana tym sposobem, posłuży nam do obliczenia grubości ścianek lufy (rys. 5).

2. *Wybór konstrukcji i mechanicznych danych.*

Przyjmiemy konstrukcję działa, wskazaną na rysunku 6a, a więc działo składać się będzie:

z rury rdzeniowej D,
„ obsady O,
„ pierścienia oporowego F_c,
„ pierścienia łączącego F_e.

Jako granicę sprężystości przyjmiemy $E = 44$ kg/mm^2 i moduł Younga $M = 22\,000$ kg/mm^2; oprócz tego założymy, że w części działa składającego się z 2 elementów (obsada i rura) promienie R_0, R_1 i R_2 będą tworzyły postęp geometryczny (prawo Gadolina).

3. *Profil zewnętrzny.*

Promień zewnętrzny lufy R_1 znajdujemy ze wzoru

$$R_1 = \frac{R_0}{\sqrt{1 - \frac{2P}{nE}}}, \text{ gdzie}$$

R_0 oznacza promień wewnętrzny rury, za który w naszych obliczeniach przyjmiemy promień wewnętrzny komory nabojowej;

P — najwyższe ciśnienie w przewodzie;
E — granica sprężystości;
n — liczba elementów;

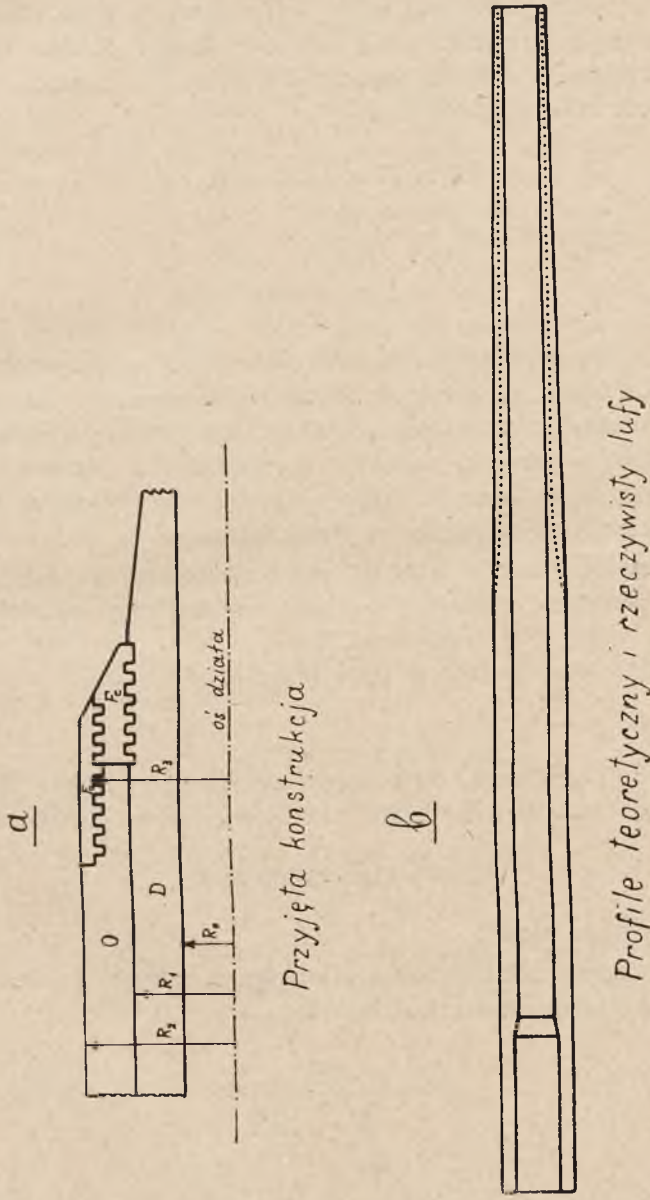
więc

$$R_1 = \frac{40,43}{\sqrt{1 - \frac{2 \times 30}{2 \times 44}}} = 71,5 \ mm.$$

Promień zewnętrzny obsady wynika z prawa Gadolina

*) uzasadnienie zastosowanych w tym rozdziale wzorów znaleźć można w Nr. 2 Bibljoteki Przeglądu Artyl. — Wytrzymałość luf działowych, str. 73—76 i 82 — 111 (przyp. Redakcji).

**) odpowiada to spółczynnikowi bezpieczeństwa 0.83 co jest liczbą bardzo dużą (przyp. Redakcji).



Rys. 6.

$$R_2 = R_1 \frac{R_1}{R_0} = \frac{71{,}5 \times 71{,}5}{40{,}43} = 126{,}9 \neq 127 \ mm$$

Wzór

$$P = \frac{E}{2}\left(1 - \frac{R_0^{\,2}}{R_1^{\,2}}\right) = \frac{44}{2}\left(1 - \frac{38{,}5}{71{,}5}\right) = 15{,}65 \ kg/mm^2.$$

wskazuje, że pojedyńcza lufa może wytrzymać ciśnienie 1565 *kg cm*², które odpowiada odległości 1182 *mm* od tylnego płasku lufy; aby otrzymać całkowitą długość obsady, założymy, że zamek działa posiada długość równą 1,5 kalibra

$$1{,}5 \times 77 = 115{,}5 \ mm,$$

całkowita długość obsady będzie więc

$$1182 + 115{,}5 = 1297{,}5 \ mm$$

Promień wewnętrzny pierścienia łączącego moglibyśmy określić ze wzoru dla działa, składającego się z trzech elementów (lufa, obsada, pierścień łączący); rozwiązanie odpowiedniego równania wskazuje, że taki pierścień z punktu widzenia wytrzymałości poprzecznej jest zbyteczny, ponieważ zespół (lufa + obsada) jest wystarczający dla przeciwstawienia się ciśnieniu w tem miejscu.

Jednakże pierścień łączący jest niezbędny w danym razie z innych punktów widzenia; promień wewnętrzny pierścienia R_3 przyjmiemy

$$R_3 = \frac{R_1 + R_2}{2} = \frac{127 + 71{,}5}{2} = 99{,}25 \ mm$$

Długość pierścienia oporowego przyjmiemy równą 218 *mm*; w ten sposób lufa będzie miała jednakową średnicę zewnętrzną na długości

$$1182 + 218 = 1400 \ mm$$

licząc od tylnego płasku.

Teoretyczny profil zewnętrzny lufy poza obsadą i pierścieniem oporowym określamy na zasadzie wzoru

$$R_1 = \frac{R_0}{\sqrt{1 - \frac{2P}{E}}};$$

gdzie dla P przyjmujemy wartości dane przez krzywą ciśnień (rys. 5).

Wyniki obliczeń podane są w poniższej tablicy, gdzie

P oznacza ciśnienie;
L „ odległość od tylnego płasku;
R_1 „ promień profilu teoretycznego.

P kg/cm^2	$L\ mm$	$R_1\ mm$
1009	1607	52,5
740	2041	47,3
577	2406	44,7
479	2810	41,0

Profil teoretyczny jest wykreślony na rysunku 6*b* kropkami; na rysunku tym pełną linją wykreślony jest profil rzeczywisty, który musimy przyjąć ze względów łatwości obróbki mechanicznej, a także ze względu na to, że u wylotu lufy zachodzi konieczność zwiększenia grubości ścianki, co chroni do pewnego stopnia lufę od ewentualnych zniekształceń, które mogą być spowodowane przez wypadkowe uderzenia. Grubość ścianek u wylotu często dochodzi nawet do 1/2 kalibra; w rozpatrywanem dziale przyjmiemy grubość ścianki lufy u wylotu 14 *mm*, co daje zewnętrzny promień u wylotu $R_1 = 52{,}5$ *mm*; lufa będzie miała na długości 1400 *mm*, poczynając od tylnego płasku, kształt walcowy, a później do końca kształt stożkowy.

4. *Zaciskanie średnicowe.*

Zaciskanie obsady będzie

$$S_1 = \frac{E}{M}\left[1 - \frac{1}{\left(\frac{R_1^2}{R_0^2} - 1\right)}\left(1 - \frac{R_0^2}{R_1^2}\right)\right] =$$

$$= \frac{44}{22000}\left[1 - \frac{1}{\left(\frac{71{,}5^2}{40{,}43^2} - 1\right)}\left(1 - \frac{40{,}43^2}{71{,}5^2}\right) = 0{,}144;\right.$$

Zaciskanie pierścienia oporowego

$$S_2 = \frac{E}{M}\left\{1 - \left[\left(1 - \frac{R_0^2}{R_1^2}\right)\frac{R_0^2}{R_1^2 - R_0^2}\right]\right\} =$$

$$= \frac{44}{22000}\left[1 - \left(1 - \frac{38{,}5^2}{71{,}5^2}\right)\frac{38{,}5^2}{71{,}5^2 - 38{,}5^2}\right] = 0{,}144:$$

Zaciskanie pierścienia łączącego

$$S_3 = \frac{E'}{M}\left\{1 - \left[\left(1 - \frac{R_0^2}{R_1^2}\right) + \left(1 - \frac{R_1^2}{R_3^2}\right)\right]\frac{R_0^2}{R_3^2 - R_0^2}\right\} =$$

$$= \frac{44}{22000} \left\{ 1 - \left[\left(1 - \frac{38,5^2}{71,5^2} \right) + \left(1 - \frac{71,5^2}{99,25^2} \right) \right] \frac{38,5^2}{99,25^2 - 38,5^2} \right\} = 0,158.$$

5. *Obliczenie ciężaru działa.*

Objętość lufy i obsady wraz z pierścieniami otrzymamy z elementarnych wzorów geometrycznych; znając objętość, ciężar działa otrzymamy przez pomnożenie objętości przez ciężar gatunkowy stali.

Odnośne obliczenia dają nam:

objętość lufy, obsady i pierścieni 68,65 *dcm*^{3},
objętość bloka zamkowego 5,85 *dcm*^{3},
ciężar lufy z zamkiem $(68,65 + 5,85)\, 7,8 = 590$ *kg*;

do tego ciężaru dodamy 60 *kg* (ciężar części, których nie obliczaliśmy), wobec czego całkowity ciężar wyniesie

$$590 + 60 = 650 \ kg.$$

Ppłk. Inż. RAKOWSKI HENRYK.

PRZEPISY O URZĄDZANIU I PROWADZENIU WYTWÓRNI PROCHÓW BEZDYMNYCH W NIEMCZECH.

Sprawa produkcji prochów i materjałów wybuchowych uregulowana jest we wszystkich krajach mniej lub więcej szczegółowemi przepisami urzędowemi, mającemi na celu zabezpieczenie pracowników i okolicznych objektów (osiedli ludzkich, kolei żelaznych, dróg i t. p.) od skutków ewentualnych eksplozyj w wytwórni jak również, o ile możliwe, zapobieżenie tym eksplozjom.

Przy budowie wytwórni materjałów wybuchowych względy bezpieczeństwa przemawiają za utworzeniem jak najszerszej zewnętrznej strefy bezpieczeństwa, wolnej od osiedli, kolei i t. p., i za zachowaniem jak największych odległości pomiędzy poszczególnemi pracowniami i magazynami wytwórni. Jednocześnie względy ekonomiczne (wzgląd na koszt terenu i budowy, na łatwość i taniość prowadzenia wytwórni i t. d.) wymagają, o ile możliwe, większego skupienia pracowni i budowy wytwórni w niezbyt wielkiej odległości od osiedli ludzkich i w pobliżu linij kolejowych. Pomiędzy temi sprzecznemi wymaganiami trzeba znaleźć „złoty środek", co nie jest sprawą łatwą.

Jak wspomniano wyżej, sprawy tej nie pozostawiano do każdorazowego rozstrzygnięcia zainteresowanych czynników prywatnych, a uregulowano ją przepisami urzędowemi, opartemi jednak w różnych krajach na nieco odmiennych podstawach, zależnie od warunków miejscowych.

W przedwojennej Rosji przy budowie prywatnych wytwórni prochu czarnego lub materjałów wybuchowych, obowiązywała zewnętrzna strefa bezpieczeństwa dookoła wytwórni szerokości 750 sążni (około 1500 metrów). Strefa ta musiała stanowić własność wytwórni lub być dzierżawiona przez nią cały czas egzystencji wytwórni. Przepisy wewnętrznego urządzenia wytwórni były natomiast bardzo ogólnikowe i mało krępujące. W jednym magazynie wolno było przechowywać do 160.000 kg prochu.

W Austrji prywatne wytwórnie materjałów wybuchowych obowiązywała strefa bezpieczeństwa 1000 metrów, a najwyższa pojemność pojedyńczego magazynu fabrycznego mogła wynosić 10.000 kg.

Przepisy rosyjskie i austrjackie nie były dostosowane do odmiennych właściwości poszczególnych materjałów wybuchowych względnie grup ich, traktowały je ryczałtowo, a w najlepszym razie robiły tylko pewne nieznaczne różnice pomiędzy wytwórniami prochów, a wytwórniami materjałów wybuchowych kruszących.

O wiele racjonalniej była postawiona sprawa w Niemczech.

Zaczynając od 1887 r. Ministerstwo Handlu i Przemysłu wydało szereg instrukcyj urzędowych dla wytwórni materjałów wybuchowych, a mianowicie: w 1887 r. — instrukcję, podającą, jakim wymaganiom powinni odpowiadać kierownicy ruchu w wytwórniach prochów i materjałów wybuchowych; w 1892 r. — instrukcję o prowadzeniu ruchu i zachowaniu się robotników w wytwórniach mat. wybuchowych; w 1893 r. — przepisy o urządzeniu i prowadzeniu wytwórni materjałów wybuchowych nitroglicerynowych (przepisy te w następnych latach kilkakrotnie uzupełniano); w 1900 r. wydano instrukcję o budowie magazynów mat. wybuchowych kruszących, w 1903 r. — przepisy dla wytwórni kwasu pikrynowego, wytwórni prochów czarnych i wytwórni prochów bezdymnych; w 1906 r. — o urządzeniu piorunochronów w wytwórniach i składach mat. wybuchowych i w 1911 r. — przepisy dla wytwórni bezpiecznych mat. wybuchowych amonowych i wytwórni nitro- i amidozwiązków. Razem wydano 10 instrukcyj, ogłoszonych w Ustawie Przemysłowej lub w czasopiśmie Ministerstwa Handlu i Przemysłu.

Instrukcje te, w zależności od właściwości produkowanych materjałów wybuchowych, wymagały większych lub mniejszych stref bezpieczeństwa i odległości pomiędzy poszczególnemi budynkami wytwórni, przy więcej niebezpiecznych materjałach ograniczały pojemność magazynów i nakazywały takie lub inne środki ostrożności przy pracy.

Poza tem Związek Zawodowy Przemysłu Chemicznego w Niemczech, prawdopodobnie wobec wzajemnej asekuracji swych członków, również wydał przepisy prowadzenia pracy w wytwórniach chemicznych (Die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie). Oprócz przepisów ogólnych, wspólnych dla wszystkich wytwórni chemicznych, znajdujemy tu znów specjalne szczegółowe przepisy dla wytwórni prochów czarnych, prochów bezdymnych, kwasu pikrynowego, materjałów wybuchowych nitroglicerynowych i amonowych, trójnitrotoluolu, zapalników, ogni sztucznych, spłonek i kapiszonów i t. p. Przepisy dla wytwórni kwasu pikrynowego — z 1903 r., dla wytwórni mat. wybuchowych nitroglicerynowych z 1909 r. i pozostałe przepisy z 1911 r. Przepisy Związku służą jako uzupełnienie odnośnych przepisów ministerjalnych i zarządzeń władz policyjnych.

Wreszcie podczas wojny światowej Centralny Urząd Nadzorczy Ministerstwa Wojny wydał dla wytwórni materjałów wybuchowych i zakładów amunicyjnych nowy szereg przepisów, dosłownie mówiąc, wskazówek (Merkblätter), podających zasady, jakiemi mają się kierować miejscowe organa bezpieczeństwa w zakładach przy wydawaniu swych zarządzeń. Przepisów Urzędu Centralnego wydano ogółem 11, a mianowicie: przepisy dla wytwórni prochów bezdymnych, wytwórni trójnitrotoluolu, wytwórni dwunitrobenzolu; dla zakładów, przerabiających trójnitrotoluol, dwunitrobenzol, trójnitroanizol i ich mieszaniny z saletrą amonową i nadchloranem potasu, jak również kwas pikrynowy na ładunki dla pocisków i min; instrukcję o środkach zabezpieczenia od zatruć przy przeróbce dwunitrobenzolu w zakładach amunicyjnych; przepisy dla wytwórni materjałów wybuchowych chloranowych i nadchloranowych, wytwórni zapalników do amunicji artyleryjskiej, pionerskiej i morskiej, wytwórni prochu amonowego, wytwórni amunicji świetlnej i sygnałowej, wskazówki dla składów amunicyjnych podczas wojny i wskazówki o urządzaniu piorunochronów w zakładach, w których zagraża niebezpieczeństwo eksplozji. Wszystkie przepisy Centralnego Urzędu wydano jako poufne, nie wypuszczając ich na rynek księgarski.

Wojna światowa we wszystkich wojujących krajach wywołała tak olbrzymi wzrost produkcji materjałów wybuchowych, tyle eksplozyj i pożarów w wytwórniach tych materjałów, iż można się było spodziewać, że cała masa problemów, związanych z bezpieczeństwem produkcji materjałów wybuchowych, zostanie wyjaśniona i że po wojnie przepisy budowy i prowadzenia tych wytwórni ulegną re-

wizji i dość znacznym zmianom. Nadzieje te jednak, jak dotychczas, sprawdziły się tylko w nieznacznym stopniu, prawdopodobnie, z powodu nawału we wszystkich krajach pilniejszych spraw, związanych z likwidacją wielkiej wojny.

W 1924 r. Departament Uzbrojenia Amerykańskiej Armji wydał przepisy bezpieczeństwa, podane w streszczeniu w Przeglądzie Artyleryjskim z 1926 r. Nr. 1—3.

Teraz mamy do zanotowania drugi fakt. W czasopiśmie Ministerstwa Pracy w Niemczech (Reichsarbeitsblatt) z 15 marca 1929 r. ogłoszone są nowe przepisy dla wytwórni prochów bezdymnych (Merkblatt für Fabriken zur Herstellung von rauchschwachen Pulver), opracowane przez Centralny Urząd Nadzorczy nad wytwórniami taterjałów wybuchowych i zakładami amunicyjnemi (Zentralaufsichtstelle für Sprengstoff — und Munitionsfabriken).

Przepisy te dość znacznie różnią się od przepisów Min. Handlu i Przemysłu z 1903 roku. Przepisy M. H. i P. z 1903 r. były o wiele krótsze, nie podawały opisu fabrykacji i nie robiły różnicy pomiędzy prochami nitrocelulozowemi a prochami nitroglicerynowemi, porowatemi a nieporowatemi, jak to jest w przepisach nowych. Widzimy tu więc jeszcze dalsze zróżniczkowanie przepisów w zależności od własności produkowanych materjałów.

Wymagania co do zewnętrznej strefy bezpieczeństwa w poprzednich przepisach nie były wyraźnie podane. Pośrednio można było sądzić, iż wystarcza strefa szerokości 100 metrów. Przepisy nowe wymagają strefy 500-metrowej, t. j. takiej, jak przy wytwórniach prochu czarnego według przepisu M. H. i P. z 1903 r. O pojemności magazynów prochu bezdymnego przepisy poprzednie nie wspominały nic, przepisy nowe omawiają tę kwestję szczegółowo. Więcej szczegółowo omówione są w przepisach nowych również odległości pomiędzy poszczególnemi pracowniami. Naogół w porównaniu z przepisami z 1903 r. przepisy nowe są dość silnie obostrzone. Na wydanie przepisów z 15 marca 1929 roku, między innemi, wpłynęły prawdopodobnie dwie wielkie eksplozje, jakie miały miejsce w Niemczech w wytwórni prochów myśliwskich w Hasloch a. Main dn. 20 maja 1926 r. (zabitych 9 i rannych 30 osób, w tem 10 ciężko) i dn. 14 lipca 1928 r. (zabitych 4 i rannych 7 osób).

W przypuszczeniu, iż wskazane najnowsze przepisy niemieckie o budowie i prowadzeniu wytwórni prochów bezdymnych zainteresują pewien krąg czytelników Przeglądu Artyleryjskiego, poniżej podajemy je w przekładzie, zbliżonym o ile możliwe do oryginału nie-

mieckiego, zaczerpniętego z czasopisma „Zeitschrift für das gesammte Schiess — und Sprengstoffwesen“ załącznik do Nr. 5 z 1929 r.

PRZEPISY DLA WYTWÓRNI PROCHÓW BEZDYMNYCH
(nitrocelulozowych i nitroglicerynowych)
z dn. 15 marca 1929 r.

Uwaga wstępna.

Wymagania, podane w niniejszych przepisach, obowiązują w całej rozciągłości wytwórnie nowobudowane. W wytwórniach już egzystujących należy wymagać dostosowania się tylko do tych poszczególnych punktów niniejszych przepisów, zachowanie których wydaje się konieczne celem usunięcia poważniejszych usterek.

I. WŁASNOŚCI PROCHÓW BEZDYMNYCH I SUROWCÓW, STOSOWANYCH PRZY PRODUKCJI PROCHÓW.

Niebezpieczeństwa, zagrażające przy produkcji prochów bezdymnych, wypływają z własności prochów jak również z własności surowców i materjałów pomocniczych, stosowanych przy produkcji prochów (nitrocelulozy, nitrogliceryny, alkoholu i eteru, acetonu i t. d.).

Niebezpieczeństwo pożaru.

Gotowy proch bezdymny zapala się, tak samo jak nitroceluloza, pod działaniem wysokiej temperatury, przedewszystkiem od płomienia lub iskry o dostatecznej pojemności ciepła. Może się on jednak zapalić również przez samoczynny rozkład i wreszcie, choć nieco trudniej, od tarcia i uderzenia. Przez tarcie proch łatwo elektryzuje się; mogą przytem powstać elektryczne wyładowania i iskry, i to tem łatwiej, im proch jest więcej drobnoziarnisty i porowaty, ostrokanciasty i o szorstkiej powierzchni. Drobnoziarniste prochy (pistoletowe i karabinowe) są wskutek tego łatwiej zapalne niż prochy gruboziarniste (rurkowe lub wstęgowe prochy działowe), a prochy niegrafitowane łatwiej zapalne niż grafitowane. Z prochów bezdymnych szczególnie łatwo zapalają się od tarcia prochy nitrocelulozowe. Zapalność prochu od tarcia jest tem większa, im proch jest więcej wysuszony i gorący. Rurkę prochową, bezpośrednio po wyjęciu z suszarni, można zapalić jak zapałkę przez silne potarcie jej jednym końcem o deskę. Niekiedy takiż wynik otrzymuje się i przy pocieraniu o deskę prochu o zwykłej temperaturze i normalnej zawartości wilgoci.

Jeżeli rurkę prochową, odpowiednio naciągniętą, pocierać wzdłuż przy dość słabym nacisku kantówką drewnianą, to mniej więcej po jednej minucie proch zaczyna wydzielać odór, a wkrótce potem raptownie zapala się. Tarcie prochu w ciągu dłuższego czasu pod słabem ciśnieniem szczególnie łatwo może zachodzić na mechanicznych sitach, służących do odpylania prochu, i na aparatach do mieszania prochów rozmaitych seryj.

Niebezpieczeństwo zapalenia się grozi również przy transporcie prochu.

Niebezpieczeństwo eksplozji.

Proch bezdymny naogół nie jest podatny do eksplozji, ale może on eksplodować, o ile pali się pod wzrastającem ciśnieniem (w mocno zamkniętej przestrzeni lub nagromadzony w bardzo dużej ilości) lub gdy zapalenie zostanie spowodowane przez ładunek inicjujący. Eksplozja prochu porowatego lub prochu czarnego działa tak samo, jak ładunek inicjujący. Pożar prochu może przejść w eksplozję tem szybciej, im większa jest powierzchnia palącego się prochu. Wskutek tego proch pistoletowy jest więcej niebezpieczny niż proch karabinowy, a ten ostatni więcej niebezpieczny niż proch działowy.

Przy paleniu się prochu działowego w postaci długich rurek, palące się rurki rozlatują się dookoła, jak rakiety. Pożar takiego prochu może przez to szybko rozprzestrzenić się na dalsze odległości.

Prochy porowate są łatwiej zapalne i palą się z większą szybkością niż prochy nieporowate; pod tym względem, jak również pod względem zdolności do eksplozji zbliżone one są do prochu czarnego.

Niebezpieczeństwa, powodowane przez surowce.

Nitroceluloza, dostarczana do wytwórni prochu, zawiera zwykle około 35% wody. W stanie tym nie jest ona ani zapalna, ani wybuchowa. Grozi ona pożarem lub eksplozją dopiero po wysuszeniu.

Nitrogliceryna, również wtedy, gdy jest w wodzie, zmieszana z nitrocelulozą, wymaga przy pracy z nią szczególnej ostrożności, gdyż jest łatwo zapalna i podatna do eksplozji.

Alkohol, a jeszcze więcej eter, wrzący przy 35°, których stosunkowo ciężkie pary posiadają niepożądaną właściwość rozpływania się, zagraża zarówno pożarem, jak i eksplozją. Mieszaniny par eteru i powietrza przy małej zawartości eteru są wybuchowe, a przy wyższej — palne. Podobnie do benzyny, eter, przechodząc przez przewody rurowe, elektryzuje się od tarcia; przy pewnych warunkach może przytem nastąpić wyładowanie elektryczne

i powstanie iskry, o ile nie stosuje się żadnych środków zapobiegawczych.

Powyższe dane dają orjentację, jakie środki zapobiegawcze należy stosować celem opanowania i usunięcia niebezpieczeństwa pożaru i eksplozji.

II. OPIS FABRYKACJI.

A. Prochy nitrocelulozowe.

Fabrykacja prochów nitrocelulozowych polega na żelatynizacji mieszaniny bawełny strzelniczej i nitrocelulozy kolodjonowej przy pomocy mieszaniny eteru i alkoholu. Otrzymaną w ten sposób masę prochową formuje się (w rurki, wstęgi i t. p.) i suszy. Fabrykacja rozpada się na następujące poszczególne operacje.

1. Odwadnianie nitrocelulozy przy pomocy alkoholu.
2. Żelatynizacja przesiąkniętej alkoholem nitrocelulozy przez dodawanie do niej eteru w ugniatarkach.
3. Prasowanie zżelatynowanej masy na wstęgi lub rurki.
4. Częściowe usuwanie rozpuszczalnika (eter-alkoholu) z wyprasowanych wstęg lub rurek przez łagodne ogrzewanie ich (wstępne suszenie).
5. Krajanie podsuszonych prochowych wstęg lub rurek na płytki, pasemka, dłuższe lub krótsze rurki.
6. Możliwie całkowite usunięcie eter-alkoholu z uformowanego prochu (suszenie właściwe):
   a) przez suszenie prochu w dużych szafkowych suszarniach próżniowych przy temperaturze najwyżej 85°;
   b) przez maczanie prochu w ciepłej wodzie;
   c) przez suszenie wymoczonego prochu przy temperaturze najwyżej 85°.
7. Mieszanie prochu dziennej produkcji na mieszanki specjalne i do odbioru.
8. Pakowanie.

Poza powyższemi operacjami przy produkcji pewnych gatunków prochu, jak nprz. prochu płytkowego karabinowego lub prochu w postaci małych krótkich rurek, odbywają się jeszcze następujące operacje:

9. Odsiewanie.
10. Grafitowanie t. j. pokrywanie ziarn prochu cienką warstwą

grafitu. Uskutecznia się to w bębnach do polerowania. Z grafitowaniem często łączy się obróbka prochu z powierzchni płynami.

11. Odpylanie.

Prochom porowatym (myśliwskim, ćwiczebnym i prochom na podsypki) nadaje się porowatość w ten sposób, że przy ich wyrobie, który zasadniczo nie różni się od wyrobu prochów nitrocelulozowych nieporowatych, podczas żelatynizacji zagniata się do masy rozpuszczalną w wodzie sól, a po uformowaniu ziarn (po wyprasowaniu i pokrajaniu wstęg względnie rurek) i po wstępnem podsuszeniu sól tę wyługowuje się z prochu wodą gorącą. Otrzymany w ten sposób proch odwirowuje się celem usunięcia z niego głównej masy wody i suszy ponownie. Zależnie od ilości użytej soli otrzymuje się proch mniej lub więcej porowaty i łatwopalny.

B. Prochy nitroglicerynowe.

a. Prochy nitroglicerynowe zwykłe.

Fabrykacja prochów nitroglicerynowych odróżnia się od fabrykacji prochów nitrocelulozowych tylko w pewnych szczegółach, a mianowicie:

1. Nitrocelulozę miesza się w wodzie z nitrogliceryną i ewentualnemi dodatkami przy pomocy przedmuchiwania powietrza.
2. Zawartość wody w masie prochowej obniża się do mniej więcej 35% przez odwirowywanie jej na wirówkach lub prasowanie w prasach filtracyjnych.
3. Otrzymaną w ten sposób masę prochową rozdrabnia się i miesza się razem kilka szarż.
4. Masę prochową przepuszcza się przez sita o dużych oczkach.
5. Przy pomocy walcowania usuwa się z masy prochowej wodę. Jednocześnie następuje przytem wstępna żelatynizacja masy.
6. W razie potrzeby suszy się masę prochową przy temperaturze 45^0.
7. Masę prochową zagniata się z dodatkami w ugniatarkach.

b. Prochy nitroglicerynowe bez rozpuszczalnika.

Prochy nitroglicerynowe bez rozpuszczalnika składają się z mieszaniny bawełny strzelniczej, nitrocelulozy kolodjonowej i nitroglice-

ryny (czystej lub z dodatkiem nitrotoluolów), zżelatynowanej przez dodanie nielotnego środka żelatynującego.

Fabrykacja tych prochów odróżnia się od fabrykacji prochów nitroglicerynowych zwykłych tem, że wyrabia się je przy wyższej temperaturze, wyższem ciśnieniu i z większą ilością dodatków niż prochy nitroglicerynowe zwykłe.

W związku z tem fabrykacja prochów nitroglicerynowych bez rozpuszczalnika jest więcej niebezpieczna niż fabrykacja innych prochów bezdymnych. Niebezpieczeństwo tej fabrykacji wzrasta jeszcze więcej w razie obecności w masie prochowej ciał obcych lub stwardniałych cząsteczek prochu, przy stosowaniu nadmiernie wysokich ciśnień lub przy nieudolnej pracy.

III. PRZEPISY BUDOWY WYTWÓRNI.

a. Ogólne.

1. Wytwórnia prochu winna być ogrodzona dookoła w sposób, zabezpieczający od wchodzenia niepowołanych osób na teren wytwórni i do pracowni.

Pomiędzy ogrodzeniem wytwórni a pracowniami lub magazynami powinna być odległość co najmniej 35 metrów. Przy wejściach należy umieścić dobrze widoczne tablice ostrzegawcze, wzbraniające wstępu do wytwórni niepowołanym osobom, palenia tytoniu i rozpalania ognia.

2. Od osiedli, obcych domów mieszkalnych, innych zakładów przemysłowych, kolei żelaznych i dróg publicznych najbliższy budynek wytwórni, w którym przerabia się lub przechowuje proch, winien być w odległości 500 metrów. Przy sprzyjających warunkach terenowych (jeżeli nprz. między wytwórnią a objektem zewnętrznym jest wzgórek lub las liściasty) mogą być dopuszczone odległości mniejsze [1]).

---

[1]) Przepisy z 1903 r. głosiły: Żelatynowane prochy bezdymne wymagają dla nagłego przejścia w stan gazowy znacznie silniejszego impulsu aniżeli proch czarny; zapalenie luźnego, nieopakowanego prochu bezdymnego przez iskrę, płomień, wyładowanie elektryczne lub t. p. nie powoduje wybuchu. Warunki, sprzyjające wybuchowi prochu bezdymnego, wytwarzają się dopiero wtedy, gdy proch spala się pod wzrastającem ciśnieniem (w mocnem zamknięciu) lub gdy zapalenie jego następuje pod wpływem eksplozji materjału wybuchowego (piorunjanu rtęci, suchej bawełny strzelniczej lub prochu czarnego). Właściwe przeto środki bezpieczeństwa można, w gruncie rzeczy, ograniczyć do zabezpieczenia budynków fabrycznych od przenoszenia iskier i płomieni. Niebezpieczeństwo wybuchu należy mieć na uwadze jedynie przy niezupełnem wyłączeniu materjałów wybuchowych inicjujących (jak nprz. w wytwórniach, w których bawełna strzelnicza przed dalszą przeróbką jest suszona) lub gdy suchy proch bezdymny jest pod silnem zamknięciem; w takich

3. Od innych zakładów, należących do tego samego przedsiębiorstwa, wytwórnia prochu winna być w odległości co najmniej 50 metrów. Jeżeli dla sąsiednich zakładów (jak nprz. dla wytwórni nitrocelulozy lub wytwórni nitrogliceryny) przepisami przewidziane są odległości większe, to obowiązują w tym wypadku te ostatnie odległości.

4. Odległości pomiędzy poszczególnemi budynkami wytwórni uzależnione są od tego, czy przy pracy w danych budynkach zachodzi niebezpieczeństwo eksplozji, czy tylko pożaru.

Budynki, w których dokonywuje się operacyj, grożących eksplozją, jak nprz. suszenie prochu, winny być w odległości 50 metrów od innych budynków wytwórni i otoczone wałem ziemnym lub ścianą ochronną.

Budynki i miejsca pracy, w których zachodzi tylko niebezpieczeństwo pożaru, nie wymagają żadnych specjalnych środków zabezpieczenia, o ile są oddalone jeden od drugiego co najmniej na 10 metrów, a przy łącznych budynkach, o ile zabezpieczono je od szybkiego przerzucania się ognia z jednego przedziału do drugiego i zaopatrzono poszczególne pomieszczenia w odpowiednie wyjścia, aby pracownicy w razie potrzeby mogli szybko i bez przeszkód opuścić budynek. Jeżeli odległość pomiędzy dwiema pracowniami wynosi mniej niż 10 metrów, to przeciwległe ściany pracowni winny być wyższe, tworzyć t. zw. brandmury, lub należy między pracowniami wybudować specjalną ścianę ochronną. Magazyny i suszarnie, w których (dzięki konstrukcji i warunkom pracy) zagraża tylko niebezpieczeństwo pożaru, o ile nie są one w odległości co najmniej 50 metrów jeden od drugiego i od innych budynków, winny być ogniotrwałe lub otoczone ścianami ochronnemi.

5. W odpowiedniej odległości (około 10 metrów) od pracowni tam, gdzie to uznano za potrzebne, winny być urządzone małe podręczne magazyny dla czasowego przechowywania w nich produktu, przechodzącego z jednej pracowni do drugiej (przechowalnie półfabrykatów). O ile wymagana odległość (porównaj pkt. 6) nie może być zachowana, to należy wybudować ściany ochronne lub wały.

6. Odległość między nieobwałowanym magazynem procho-

---

razach niebezpieczeństwo należy uważać za takie same jak przy produkcji prochu czarnego i stosować przepisy, obowiązujące dla wytwórni prochu czarnego.

Poszczególne pracownie powinny być możliwie oddalone od siebie. Naogół odległość 100 metrów w dostatecznej mierze zabezpiecza od przenoszenia iskier. Przy pomyślnych warunkach terenowych za wystarczającą pod tym względem można uznać odległość jeszcze mniejszą".

wym a najbliższym budynkiem wytwórni, o ile warunki terenowe nie dają żadnego naturalnego zakrycia, winna wynosić: przy załadowaniu magazynu do 5.000 kg — 50 metrów, do 15.000 kg — 75 metrów i do 30.0000 kg — 150 metrów. Odległość pomiędzy dwoma nieobwałowanemi magazynami winna wynosić co najmniej 50 metrów.

7. Należy zapobiec wpędzaniu przez wiatr piasku, pyłu i t. p. do pracowni. Drogi przylegające bezpośrednio do pracowni i przechowalni prochu, winny być wyłożone korą garbarską, asfaltem lub t. p.

8. Wszystkie budynki wytwórni prochu winny być parterowe (budynki dla pras i budynki dla mieszania drobnokrajanego prochu mogą być jednopiętrowe) i zbudowane włącznie do dachów z materjałów ogniotrwałych [2]). Pomosty i schody również muszą być z materjałów ogniotrwałych. Materjałów palnych, jak skrzynie, beczki i t. p., nie należy przechowywać w pobliżu pracowni i magazynów.

Budynki t. zw. konstrukcji wydmuchowej składają się z trzech mocnych ścian murowanych, betonowych lub żelbetowych, a jednej ściany i dachu lekkich. W wypadkach, gdy wskazane jest uodpornienie dachu na przebicie, można to osiągnąć, robiąc sklepienie z gąbczastego betonu lub porowatej cegły i przykrywając je warstwą ziemi. Sklepienie takie przy eksplozji w budynku rozpada się na zupełne drobne kawałki i pył.

Szafkowe suszarki próżniowe winny być umieszczone w osob-

---

[2]) Według rozporządzenia Pruskiego Ministerstwa Opieki Społecznej z dn. 12 marca 1925 r. — III.25.II.9.161 — (Preussisches Handelsministerialblatt 1926, str. 253) części budowlane uważane są za ogniotrwałe, jeżeli, nie zapalając się same natychmiast, przynajmniej w ciągu kwadransa wykazują skuteczną odporność na ogień i wzbraniają mu przejścia przez się.

W szczególności za ogniotrwałe uważane są:

a) Ściany, pokrycia, podpory i konstrukcje dachowe drewniane, o ile pokryte są one 1,5 cm warstwą dobrze przygotowanej zaprawy wapiennej na trzcinie. Dopuszczalne jest stosowanie i innych wypróbowanych zapraw.

b) Schody z piaskowca, żelaza lub twardego drzewa, jak również z innego drzewa lub kamienne nie ogniotrwałe, o ile mają one 1,5 cm warstwę zaprawy na trzcinie lub równoznaczne zabezpieczenie;

c) Drzwi z twardego drzewa lub z 2,5 cm mocnych zeszpuntowanych desek, obłożone ze wszystkich stron przyśrubowaną lub przynitowaną blachą żelazną grubości co najmniej 0,5 mm, z niepalnym progiem i futryną, o ile drzwi wpuszczone są w falc głębokości co najmniej 1,5 cm.

Powyższe rozporządzenie może być uzupełnione stosownie do miejscowych warunków, ale wprowadzenie w niem zmian przez podwładne urzędy policyjno-budowlane jest niedopuszczalne.

Tam, gdzie przepisy wymagają ogniotrwałych części budowlanych, musi być ponadto wypełniony warunek, że z części tych nie będą łatwo oddzielać się drzazgi lub inne odłamki i że nie będą z niemi roznoszone iskry.

nych pomieszczeniach konstrukcji wydmuchowej. Przynajmniej przed ścianą wybuchową budynku powinien być wał lub ściana ochronna.

9. Ściany i sufity pracowni powinny być gładko tynkowane. Pomieszczenia dla przesiewania, polerowania i odpylania prochu winny być pokryte farbą taką, aby można je było myć. Wykładanie ścian kafelkami jest niedopuszczalne wobec możliwości odpryskiwania polewy.

10. Podłogi powinny być z niezbyt twardego materjału, zawsze szczelne, gładkie i równe. Twarde podłogi (kamienne, cementowe i t. p.) bez miękkiego pokrycia (linoleum, asfaltem i t. p.) są niedopuszczalne.

11. Pracownie, szczególnie pomieszczenia dla krajania, mieszania i pakowania prochu, winny posiadać dostateczną ilość drzwi i okien. Drzwi powinny być w takich miejscach i w takiej ilości (szczególnie w pomieszczeniu dla mieszania), aby znajdujący się w pomieszczeniu pracownicy mogli szybko opuścić je w razie pożaru. Bądź co bądź, każda pracownia musi mieć co najmniej dwa wyjścia bezpośrednio na dziedziniec, o ile możliwe, z dwu przeciwnych stron budynku. Drzwi, prowadzące na dziedziniec, powinny otwierać się nazewnątrz, za zwykłem pchnięciem.

12. Przed wejściem do pracowni, podręcznych przechowalni i magazynów powinny być odpowiednie urządzenia do oczyszczania obuwia od piasku i brudu.

13. W pracowniach prochu liczba transmisyj powinna być ograniczona do bezwzględnie niezbędnego minimum. Zaleca się elektryczne przekazywanie siły. Elektryczne instalacje winny odpowiadać najnowszym przepisom bezpieczeństwa, wydanym przez Związek niemieckich elektrotechników dla elektrycznych instalacyj silnego prądu w pomieszczeniach, w których zagraża niebezpieczeństwo eksplozji. Motorów elektrycznych nie wolno ustawiać w pomieszczeniach, w których wytwarzają się palne pary (eteru, acetonu i t. p.), jak również w pomieszczeniach, w których może powstać pył prochowy. Wyłączniki i opornice motorów elektrycznych należy umieszczać nazewnątrz pracowni w zamykanych skrzynkach. Przewodniki prądu silnego, przynależne wyłączniki, bezpieczniki i t. p. należy zakładać tylko zewnątrz budynków.

14. Do szklenia okien należy używać szyb bez pęcherzy i nierówności. Szyby, wystawione na działanie słońca, powinny być ze szkła matowego lub zamalowane białą farbą olejną. O ile w pracowni niezbędne jest górne oświetlenie, to szyby górnych okien powinny

być ze szkła z siatką wewnątrz lub ze szkła matowego i dobrze umocowanej siatki drucianej poniżej szyb.

15. W budynkach w pobliżu drzwi powinny być zawieszone ręczne gaśnice w dostatecznej ilości; ponadto zaleca się w łatwo dostępnych i widocznych miejscach zawieszanie na odpowiedniej wysokości wiader, stale napełnionych wodą. Przed pracowniami, podręcznemi przechowalniami, suszarniami i magazynami powinny być urządzone w odpowiedniej ilości sygnały pożarne i hydranty w pobliżu skrzynek na węże gumowe. Przewodniki sygnałów pożarnych należy układać w ziemi. Nad walcami i krajalnicami winny być ustawione wywrotowe naczynia (napełnione wodą do gaszenia ognia), które łatwo dają się wprowadzić w ruch tak z wewnątrz jak i z zewnątrz pracowni.

Wszystkie przyrządy do gaszenia ognia powinny być pomalowane na jaskrawy (czerwony) kolor. Przydatność tych przyrządów do użytku należy okresowo sprawdzać.

16. Wszystkie budynki, w których zagraża niebezpieczeństwo pożaru lub eksplozji, wolno oświetlać tylko przy pomocy elektrycznych lamp żarowych. Pomieszczenia, w których może rozpylać się proch lub wytwarzają się palne pary (eteru, alkoholu i t. p.), zaleca się oświetlać z zewnątrz. Elektryczne lampy żarowe w innych pomieszczeniach powinny być w podwójnych gruszkach lub w kloszach ochronnych. Wyłączniki i bezpieczniki należy umieszczać zewnątrz budynków. Wewnątrz budynków przewodniki powinny być, o ile możliwe, krótkie, doprowadzane do lamp oddzielnie, w metalowych rurkach lub odpowiednio zabezpieczone w inny sposób (p. również Przepisy bezpieczeństwa Związku niemieckich elektrotechników dla zakładów, w których grozi niebezpieczeństwo eksplozji, materjałów wybuchowych lub wybuchowych mieszanin gazowych). Jako przenośne wewnątrz budynków dopuszczalne są tylko przepisowe elektryczne lampy bezpieczeństwa.

Pył, osiadający na lampach, należy regularnie usuwać. Oświetlenie elektryczne musi być utrzymywane stale w dobrym stanie i co rok sprawdzane przez fachowca. Wyniki sprawdzania winny być wpisywane do specjalnej księgi.

17. Ogrzewać pracownie i magazyny wolno tylko przy pomocy pary, wody gorącej lub powietrza ogrzanego. Ewentualne piece do ogrzewania suszarni powinny być zewnątrz suszarni w specjalnem masywnie zbudowanem pomieszczeniu.

Temperatura pary względnie powietrza ogrzanego, wprowadzanego do budynku nie powinna przewyższać 120° C., o ile dla danego budynku nie jest ustalona temperatura niższa. Kaloryfery powinny być gładkie, bez żeber i ustawiane w odległości od ścian co najmniej 15 cm w ten sposób, aby można je było łatwo dozorować i czyścić. W pobliżu kaloryferów nie wolno przechowywać ani składać żadnych materjałów palnych; nie należy również używać kaloryferów do podgrzewania jakichkolwiek bądź materjałów, rozwieszania na nich garderoby, ścierek i t. p.

Przewody rurowe doprowadzające parę do kaloryferów i aparatów, ogrzewanych parą (jak kadzie wodne) powinny być przeprowadzone tak ,aby worki lub kosze z prochem lub półfabrykatem nie mogły być o nie opierane lub umieszczane w ich pobliżu i zagrzewać się w ten sposób.

18. Wszystkie budynki, w których proch przerabia się lub magazynuje powinny być zaopatrzone w piorunochrony (p. przepisy o urządzeniu piorunochronów).

b. Specjalne przepisy dla prochów myśliwskich i t. p.

Przy fabrykacji porowatych prochów myśliwskich i ćwiczebnych procesy ostatecznego suszenia, wykańczania, mieszania i pakowania gotowych prochów związane są z większem niebezpieczeństwem, niż przy fabrykacji prochów nieporowatych, a to wobec łatwiejszej zapalności prochów porowatych, większej szybkości palenia się, większej wrażliwości na działania mechaniczne (tarcie) i t. d. Wobec tego, o ile oba gatunki prochów produkowane są jednocześnie, to wskazane procesy z prochami porowatemi należy przeprowadzać oddzielnie od takichże procesów z prochami nieporowatemi. Ponadto przy prochach porowatych najwyższe ilości, zadawane do suszarni, na odpylanie i t. p., powinny być niższe, niż przy prochach nieporowatych.

Z powyższego wypływają następujące zmiany lub dodatkowe przepisy bezpieczeństwa do przepisów, podanych w rozdziale a):

1. Budynki, w których przeprowadza się prace z suchemi prochami porowatemi, powinny być oddzielone od sąsiednich budynków ścianami ochronnemi lub wałami, jak tego wymaga rozdz. a) pkt. 4 ustęp 1-szy.

2. Magazyny dla prochów porowatych powinny być obwałowane. Odległość od magazynu do najbliższych budynków fabrycznych,

o ile teren nie daje żadnego naturalnego zakrycia, winna wynosić: przy załadowaniu magazynu do 2.500 kg — 50 metrów; do 5.000 kg — 75 metrów i do 10.000 kg — 150 metrów. Załadowywanie prochu w ilościach ponad 10.000 kg może być dopuszczone tylko wyjątkowo, jeżeli istnieją specjalnie sprzyjające warunki miejscowe.

3. W pomieszczeniach, w których proch porowaty poddaje się suszeniu lub suchy proch porowaty poddaje się dalszej przeróbce, podłogi powinny być wyłożone linoleum lub innym równowartościowym materjałem.

4. Pomieszczenia, w których proch porowaty poddaje się suszeniu lub suchy proch porowaty poddaje się dalszej przeróbce, wolno ogrzewać tylko przy pomocy wody gorącej lub powietrza ogrzanego (ogrzewanie parą jest niedopuszczalne).

c. Specjalne przepisy dla prochów nitroglicerynowych.

1. Pomieszczenia dla walców.

a) Budynki, w których ustawione są walce, winny być w odległości co najmniej 10 metrów od innych budynków, w których znajduje się proch. Ściany sąsiednich pracowni, leżące nawprost wyjścia z pomieszczenia walców, nie powinny posiadać ani okien ani drzwi.

b) Pomieszczenia dla walców winny być parterowe.

c) Poszczególne pomieszczenia walców powinny być oddzielone jedno od drugiego ścianami murowanemi, a w obu zewnętrznych ścianach każdego pomieszczenia mają być drzwi (na dziedziniec), umożliwiające pracownikom szybkie wyjście w razie pożaru. Pomieszczenia te muszą być urządzone tak, aby wydzielające się przy walcowaniu prochu pary rozpuszczalników, wody i nitrogliceryny odchodziły szybko.

d) Dach nad pomieszczeniami walców powinien być z lekkiego ogniotrwałego materjału [2]).

e) Drzwi, okna i podłogi powinny być również z materjałów ogniotrwałych [2]).

f) Każdą parę walców należy ustawić tak, aby oś jej była równoległa do obu zewnętrznych ścian pomieszczenia, w których są wyjścia. W każdem pomieszczeniu może być ustawiona tylko jedna para walców. Przy walcach powinno być urządzenie do ustawiania pary walców równolegle.

---

[2]) p. odnośnik str. 611.

g) Nad każdą parą walców winno być do gaszenia pożaru naczynie wywrotne z wodą, dające się wprowadzić w ruch tak z wewnątrz jak i z zewnątrz budynku.

2. Pomieszczenia dla pras.

Budynki, w których odbywa się prasowanie masy prochowej na rury lub wstęgi, powinny być w odległości co najmniej 10 metrów od innych budynków wytwórni.

3. Pomieszczenia dla pras, służących do wyrobu prochów bez rozpuszczalnika.

a) Aby przy wybuchu prochu w prasie odłamki, o ile możliwe, jak najmniej zagrażały znajdującym się w pobliżu pracowniom i ludziom, samo pomieszczenie prasy musi być konstrukcji wydmuchowej. W kierunku wydmuchu w odległości poniżej 50 metrów nie powinno być żadnych pracowni ani magazynów prochu. O ile warunek ten nie jest zachowany, to w odpowiedniej odległości od ściany wybuchowej należy zbudować ścianę ochronną lub wał.

b) W budynku pras właściwe pomieszczenie pras powinno być oddzielone mocnym pomostem lub ścianą od pomieszczenia dla odbierania wyprasowanych pasm prochu, aby osoby, znajdujące się w tem pomieszczeniu, były dostatecznie zabezpieczone w razie eksplozji prochu w prasie.

Pomieszczenie dla pras powinno być przestronne i wysokie; trzy masywne ściany tego pomieszczenia powinny być bez okien; okna mają być tylko w ścianie wydmuchowej.

4. Wspólny budynek dla walców i pras.

Jeżeli walce i prasy umieszcza się nie w oddzielnych budynkach, a w jednym budynku w ten sposób, że w środku budynku jest pomieszczenie dla pras, a po bokach pomieszczenia dla walców wraz z małemi przybudówkami do napędu walców, to powinny przytem znaleźć odpowiednie zastosowanie przepisy, podane w punktach 1—3 (rozdziału c). Jeżeli takie budynki, t. zw. jednostki produkcyjne, tworzą jakby ulicę, to budynki po obu stronach tej ulicy nie powinny być jeden nawprost drugiego. Odległość pomiędzy dwoma takiemi budynkami z jednej strony ulicy winna wynosić co najmniej 10 metrów.

IV. PRZEPISY RUCHU FABRYCZNEGO.

a) Prochy nitroceluzowe.

1. Odwadnianie nitrocelulozy.

Rozsypaną nitrocelulozę należy natychmiast usunąć, gdyż po wyschnięciu staje się ona niebezpieczną. Wszelkie aparaty i naczynia, stosowane w tym dziale, powinny nadawać się do łatwego oczyszczania, aby nie pozostąwały w nich resztki nitrocelulozy.

2. Przygotowanie masy prochowej.

Przy załadowywaniu nitrocelulozy do ugniatarki należy unikać uderzania o metalowy brzeg ugniatarki naczyniem, w którem dostarczono nitrocelulozę (zrobić obkładkę z miękkiego materjału).

Eter wskazane jest z metalowego naczynia, dobrze przymocowanego do ściany, zadawać do ugniatarek przez mocne przewody rurowe pod ciśnieniem odpowiedniego gazu (azotu). Wszystkie zbiorniki eteru i alkoholu, jak również ugniatarki i przewody rurowe, przez które podaje się eter i alkohol, należy dobrze uziemić. Zbiorniki i przewody rurowe należy również zabezpieczyć od przenoszenia przez nie ognia.

Naczyń z materjałów, nieprzewodzących prądu elektrycznego, szczególnie balonów szklanych, nie należy używać. Większe naczynia zaleca się zaopatrzeć w zamknięcia, zabezpieczające od wybuchu; co najmniej należy otwory ich przykryć kilkoma warstwami gęstej siatki drucianej, aby zapobiec przenoszeniu się ognia na zawartość naczyń.

Podczas otwierania i opróżniania przechylonej ugniatarki należy odciągać pary eteru przy pomocy urządzenia ssącego. Należy przytem mieć na względzie, że pary eteru są cięższe od powietrza (porównaj rozdz. IV, c.).

3. i 4. Prasowanie masy prochowej i wstępne suszenie.

Pomieszczenia do rozwieszania pasm prochowych i urządzenia do wstępnego podsuszania ich powinny być często oczyszczane od resztek prochu i od pyłu i z tego względu winny być rozmieszczone tak, aby dostęp do nich był łatwy. Pary eteru i alkoholu powinny być odciągane również i tutaj (por. rozdz. IV, c).

5. Krajanie.

Stół noża dźwigowego w ręcznych krajalnicach powinien być obłożony drzewem lub t. p. materjałem. Ani na stole, ani pod nożem nie powinny się gromadzić resztki prochu.

6a. Suszenie w próżni.

Ogrzewanie żelaznych półek szafkowych suszarek próżniowych uskutecznia się przy pomocy gorącej wody. Temperatura suszarki nie powinna przekraczać 85° i musi być stale kontrolowana przez samozapisujący termometr. Czołowe ścianki suszarki powinny być urządzone tak, aby łatwo poddały się ciśnieniu gazów w razie zapalenia się lub eksplozji prochu w suszarce. Podczas suszenia winny one łączyć się z suszarką przy pomocy krótkich przewodów elektrycznych. Po każdem opróżnieniu suszarkę wraz z półkami należy oczyścić, przedmuchując je powietrzem ścieśnionem lub strumieniem pary tak, aby nie pozostało tam żadnych resztek prochu, które przy powtórnem dłuższem ogrzewaniu mogłyby się rozłożyć i zapalić.

Pary eteru i alkoholu powinny być przy suszeniu prochu odciągane przy pomocy urządzenia ssącego (por. rozdz. IV c).

Pęczki prochu można układać do suszenia na tacach do wysokości tylko takiej, aby nie przewyższały one brzegów tac. Przez to unika się tarcia zaciskaczy lub prochu o dolną powierzchnię górnej rozgrzanej półki, jak również wypadania pojedyńczych pęczków przy otwieraniu suszarki, co w pewnych wypadkach mogłoby już spowodować pożar. Stosowanie żelaznych zaciskaczy jest wzbronione. Proch wolno wyładowywać z suszarki dopiero po ostygnięciu jego do temperatury pomieszczenia. Pomimo ostygnięcia, bezpośrednio po wyjęciu z suszarki należy go starannie chronić od uderzeń i tarcia.

Silnie wysuszony proch bardzo podatny jest do elektryzacji. Należy to mieć na względzie przy dalszej obróbce takiego prochu.

6b. Moczenie w wodzie.

W kadziach, ogrzewanych przy pomocy przewodów rurowych, poziom wody powinien być stale powyżej tych przewodów. Ponad przewodami powinno być sitowe dno, aby proch nie mógł się stykać z rurami.

6c. Suszenie w strumieniu gorącego powietrza.

Suszyć proch należy, o ile możliwe, w workach. O ile suszy się proch luźny na plecionkach drutowych, to urządzenie ich winno być takie, aby w rogach nie mogły pozostawać cząsteczki prochu, gdyż przy następnych suszeniach mogłoby to spowodować pożar. Metalowe plecionki powinny być uziemione. Tarcia należy unikać.

7. i 8. Mieszanie i pakowanie prochu.

Mieszanie prochu może być dokonywane sposobem mechanicznym lub ręcznym.

Przy mieszaniu liczba robotników w jednem pomieszczeniu winna być ograniczona do minimum (przy mieszaniu ręcznem — do 15; przy mieszaniu mechanicznem w normalnych warunkach — do 3; przejściowo, przy zmianie załogi — do 6 robotników). Poszczególne pomieszczenia pracowni powinny być oddzielone jedno od drugiego w ten sposób, aby przy zapaleniu się prochu w jednem pomieszczeniu ogień nie mógł się przerzucić do innych pomieszczeń. Przy dostarczaniu prochu do miejsc pracy należy unikać silnych wstrząsów, uderzeń, tarcia, stawiania skrzyń na rozsypanym prochu i t. p. Każdy robotnik powinien mieć wolny, bez przeszkód i jak najkrótszy dostęp od miejsca pracy do drzwi wyjściowych, których pracownia musi posiadać dostateczną ilość.

Wszelkie mechaniczne urządzenia do mieszania prochu powinny być skonstruowane tak, aby kawałki prochu nie mogły się zaciskać w nich lub podlegać niedopuszczalnemu tarciu.

Maszyny do mieszania powinny być ustawiane każda w osobnem pomieszczeniu, oddzielonem jedno od drugiego ścianami ogniotrwałemi.

Przy pakowaniu prochu napełnione i zamknięte skrzynie z prochem należy możliwie szybko przesyłać do magazynu, aby uniknąć nagromadzania się prochu w pakowni.

9. do 11. Odsiewanie, grafitowanie i odpylanie.

Sita do odsiewania i bębny do polerowania, w których proch stale porusza się, trze i przez to elektryzuje, należy uziemić.

Sita, bębny i inne przyrządy w pomieszczeniach dla odsiewania i t. p. powinny być łatwo dostępne dla oczyszczania ich od pyłu.

Urządzenia, posiadające części toczące się lub ślizgające jedna po drugiej, winny być skonstruowane tak, aby proch nie mógł się dostawać pomiędzy te toczące się lub ślizgające powierzchnie.

Robotnicy, obsługujący urządzenia dla odsiewania i polerowania prochu, winni być zabezpieczeni od działania płomienia i mieć szybki i pewny dostęp do wyjścia.

b. Prochy nitroglicerynowe.

1. W pomieszczeniach dla przechowywania surowej masy prochowej, w podręcznych przechowalniach i w pracowniach, temperatura nie powinna opadać poniżej 10° C.

2. Przy walcowaniu masę prochową należy zadawać tylko przy pomocy drewnianych łopatek, aby uniknąć zmiażdżenia rąk w walcach. Łopatki powinny być gładkie, bez pęknięć i utrzymywane w czystości.

Walce wolno puszczać w ruch tylko wtedy, gdy niema między niemi prochu. W razie zatrzymania się motoru, walce powinny być natychmiast wstrzymane. Obydwa walce należy wtedy rozsunąć jeden od drugiego tak, aby z pomiędzy nich łatwo dało się usunąć masę prochową. Walce powinny posiadać urządzenie do momentalnego wyłączania ich.

Odpadki i zimne cząsteczki prochowe nie należy puszczać na walcowanie razem z gorącą masą prochową, gdyż może to spowodować pożar, a w pewnych wypadkach i eksplozję (por. również pkt. 3).

Robotnikom, zatrudnionym przy walcach, dla zabezpieczenia od oparzeń należy wydać czapki z kapami ztyłu dla ochrony karku i skórzane rękawice ochronne.

Nad walcami winny być naczynia wywrotne, napełnione wodą.

3. Odpadki, otrzymane przy fabrykacji prochu, lub proch, podlegający przeróbce, winny być starannie oczyszczone ręcznie i albo po dodaniu rozpuszczalników przerobione same, albo po rozmiękczeniu w gorącej wodzie przed ponowną przeróbką zmieszane z dużą ilością wilgotnej masy prochowej.

4. Podczas prasowania w pomieszczeniu pras nie powinno być żadnych zbędnych osób.

5. W pomieszczeniach dla walców i pras należy przechowywać tylko niezbędne do roboty ilości masy prochowej. W pomieszczeniach tych nie powinno być żadnych zbytecznych przedmiotów.

6. Robotnicy powinni być szczegółowo pouczeni o przepisach bezpieczeństwa, obowiązujących przy pracy na walcach i prasach, i o zachowaniu się w razie zapalenia się masy prochowej.

c. Środki ochronne przy rekuperacji eteru i alkoholu.

Eter i alkohol, zmieszane z powietrzem w pewnym stosunku, tworzą mieszaniny wybuchowe.

Przy odciąganiu ssaniem par eteru i alkoholu należy, o ile możliwe, zapobiegać powstawaniu takich mieszanin wybuchowych. Osiąga się to przez mieszanie par z bardzo wielkiemi ilościami powietrza.

Dla odciągania par eteru i alkoholu wchodzą w rachubę następujące operacje fabryczne:

1. Zagniatanie.

Z ugniatarek. przy niedostatecznem uszczelnieniu pokryw łatwo ulatniają się pary eteru i alkoholu. Należy zwracać na to baczną uwagę.

Pary eteru, wydzielające się przy opróżnianiu ugniatarek, należy odciągać, przyczem należy mieć na względzie, że pary eteru są cięższe od powietrza.

2. Prasowanie.

Pary eteru i alkoholu należy odciągać w miejscu napełniania cylindrów pras tudzież przy wypuszczaniu pasm prochu na transporter wstęgowy bezpośrednio w pobliżu tłoka prasy i w skrzyniach odbiorczych względnie w kamerach do rozwieszania pasm prochowych, i to w najniższych punktach. W pomieszczeniu pras należy unikać nagromadzania większych ilości prochu.

3. Suszenie.

Pomieszczenia dla suszenia prochu muszą być konstrukcji lekkiej. Pary eteru i alkoholu należy odciągać w najniższem miejscu suszarni.

4. Absorbcja.

Należy dbać, aby resztki prochu nie dostawały się do dmuchawek odśrodkowych i aby mieszanina gazowa nie mogła się w nich zapalić.

Temperatura w dmuchawce nie powinna przekraczać 50° (kontrolny termometr).

Podczas ruchu należy sprawdzać ciśnienie w przewodach.

Podczas krótkich przerw w pracy, dmuchawki winny pozostawać w ruchu, aby nie było przerwy w odciąganiu, gdyż mogłoby to spowodować utworzenie się wybuchowej mieszaniny gazowej.

O ile instalacja nie składa się z kilku dmuchawek, wskazane jest mieć na pogotowiu jedną zapasową dmuchawkę.

Aparaty i przewody rurowe, w których pary eteru i alkoholu są pod zmniejszonem ciśnieniem, powinny być utrzymywane w stanie stale szczelnym. Wszystkie urządzenia do odciągania par eteru i alkoholu i absorbcji ich należy uziemić.

V. OGÓLNE PRZEPISY BEZPIECZEŃSTWA.

1. Ilości półproduktów i gotowych produktów w pomieszczeniach powinny być nie większe, niż to jest bezwzględnie konieczne dla bieżącej produkcji. Dla uniknięcia nagromadzania się materjałów w pracowniach należy w odpowiednich miejscach urządzić podręczne przechowalnie półfabrykatów. Ilości materjałów i liczby pracowników, dopuszczalne w poszczególnych pomieszczeniach, powinny być wyraźnie podane nad drzwiami wejściowemi pomieszczeń.

2. Drogi, po których przewozi się suchy proch, powinny być rozplanowane i utrzymywane tak, aby nie było przewracania się lub uderzeń środków transportowych.

3. Beczki i inne naczynia przed wnoszeniem do pracowni należy starannie oczyszczać od piasku i ziemi. Próżne naczynia powinny być zawsze dobrze oczyszczone. Beczki i skrzynie, do których pakuje się proch lub masę prochową, muszą być szczelne, aby materjał nie mógł się wysypywać z nich.

Naczyń, napełnionych masą prochową lub prochem, nie należy pozostawiać na dziedzińcu bez dozoru.

4. We wszystkich pracowniach i magazynach należy przestrzegać skrupulatną czystość.

Rozsypaną masę prochową lub proch należy uważać za zanieczyszczone i nie używać ich do dalszej przeróbki. W każdej pracowni powinno być specjalne naczynie na odpadki z odpowiednim wyraźnym napisem. Odpadki należy zbierać do tego naczynia i codziennie spalać w wyznaczonem na ten cel miejscu.

5. Należy zapobiegać wszelkiemu zanieczyszczeniu surowców i półfabrykatów przez ciała obce.

6. W pracowniach nie należy przechowywać palnych materjałów ponad rzeczywistą potrzebę. Używanych szmat i pakuł nie wolno przechowywać w pracowniach, a należy je składać zewnątrz budynków w specjalnych zamykanych skrzynkach z blachy żelaznej i okresowo usuwać stamtąd. Skrzynki należy ulokować tak, aby w razie zapalenia się ich zawartości ogień nie mógł się przerzucić na budynki.

7. Wszystkie pracownie należy przynajmniej raz na tydzień gruntownie oczyszczać, usuwając kurz i t. p. nietylko z podłogi, ale również ze ścian, sufitów, kaloryferów, lamp i maszyn. Jednocześnie należy dokładnie sprawdzać maszyny i aparaty i usuwać ewentualne wadliwości ich.

8. W pracowniach można dokonywać tylko prace nakazane do wykonania w nich, a w przechowalniach i magazynach — prace, związane z przejściowem lub stałem przechowywaniem półfabrykatów i prochu.

9. Naczynia z prochem lub wrażliwemi półfabrykatami należy podnosić, przenosić i ustawiać ostrożnie, unikając tarcia i uderzeń.

10. Naprawy w pracowniach, tak samych pomieszczeń jak i maszyn do produkcji prochu, wolno uskuteczniać tylko za wiedzą kierownictwa ruchu i pod fachowym nadzorem. Przed przystąpieniem do naprawy należy usunąć z pomieszczenia proch względnie masę prochową, a maszyny i podłogi gruntownie oczyścić od pyłu prochowego i przyległej masy prochowej.

11. Aby w razie pożaru robotnicy mogli szybko opuścić pracownie, wejścia i wyjścia pracowni, tak wewnątrz jak i zewnątrz, nie powinny być zatarasowywane (skrzynkami, wagonetkami i t. p.). Wagonetek, któremi proch dostarcza się do pracowni lub magazynów, nie należy zatrzymywać bezpośrednio przed drzwiami budynków, aby w razie zapalenia się prochu na wagonetce ogień nie przenosił się na pracownię i odwrotnie. Dla zatrzymywania się wagonetek należy ustalić i wyraźnie oznaczyć miejsca, o ile możliwe, jak najdalej z boku od drzwi pracowni.

Rozsypany na torze kolejki proch należy natychmiast usunąć.

12. Wnoszenia do wytwórni zapałek i zapalniczek (z wyjątkiem wypadków zezwolenia na to kierownika ruchu), jak również tytoniu i cygar, i operowania otwartym ogniem i światłem na terenie wytwórni należy wzbronić — ewentualnie pod groźbą natychmiastowego zwolnienia z zajęcia.

13. Każdemu robotnikowi należy wyznaczyć określony zakres działania. W pracowniach i magazynach mogą przebywać tylko ci ludzie, którzy według zarządzenia kierownika ruchu, mają tam wyznaczoną pracę.

14. Wszystkich robotników należy pouczyć szczegółowo, jak mają oni postępować w razie niebezpieczeństwa, jak również w wypadku pożaru i eksplozji.

15. W razie burzy pracownicy niebezpiecznych działów wytwórni na dany sygnał powinni opuścić pracownie, wstrzymując uprzednio maszyny i maszynowe urządzenia, będące w ruchu.

Bliższe szczegóły w tej sprawie zarządza kierownik ruchu.

16. Przyjmowanie posiłków i przebieranie się w pracowniach jest niedopuszczalne.

17. Produkcją prochu w wytwórni winien zarządzać odpowiedzialny kierownik ruchu, mający do pomocy zastępcę (podczas produkcji jeden z nich musi być obecny na terenie wytwórni). Tak kierownik ruchu jak i zastępca jego muszą posiadać odpowiednie wykształcenie i niezbędne techniczne wiadomości. Winni oni uzyskać zatwierdzenie odnośnych władz rządowych i przemysłowych i zobowiązać się do starannego przestrzegania swych obowiązków służbowych. Na poszczególne działy produkcji należy postawić wypróbowanych majstrów i nadzorców. Jako robotnicy mogą być użyci tylko trzeźwi i pewni ludzie po uprzedniem wyszkoleniu ich.

18. W nocy i w te dnie, gdy wytwórnia jest nieczynna, wszystkie jej działy powinny podlegać dozorowi. Wartowników należy kontrolować przy pomocy zegarów kontrolnych lub t. p. urządzeń.

19. Osobom obcym należy pozwalać na wstęp do wytwórni tylko za przepustkami, wydanemi przez kierownictwo ruchu.

Berlin, marzec 1929 r.

Centralny Urząd Nadzorczy nad wytwórniami materjałów wybuchowych i zakładami amunicyjnemi.